FRANCISCO MORA

NEUROEDUCACIÓN Y LECTURA:

DE LA EMOCIÓN A LA COMPRENSIÓN DE LAS PALABRAS

Alianza editorial

FRANCISCO MORA

NEUROEDUCACIÓN Y LECTURA:

DE LA EMOCIÓN A LA COMPRENSIÓN DE LAS PALABRAS

Alianza editorial

FRANCISCO MORA

NEUROEDUCACIÓN Y LECTURA:

De la emoción a la comprensión de las palabras

Alianza editorial

A los maestros,
que nos enseñaron a leer y nos abrieron un mundo nuevo de
emoción y conocimiento.

ÍNDICE

PRÓLOGO

1. NEUROEDUCACIÓN Y LECTURA: LA VERDADERA GRAN REVOLUCIÓN HUMANA

2. UNA RÁPIDA MIRADA AL CEREBRO

3. EL LARGO CAMINO ENTRE EL LENGUAJE Y LA LECTURA: UNA PEQUEÑA HISTORIA

4. DESGRANANDO LA LECTURA EN EL CEREBRO

5. PLASTICIDAD CEREBRAL: CARAS LUCHANDO CON PALABRAS

6. LOS CÓDIGOS NEURONALES DE LA LECTURA: PUNTOS, LÍNEAS, CURVAS, LETRAS Y PALABRAS

7. DE LEER UNA PALABRA A ENTENDER SU SIGNIFICADO

8. DE LA PALABRA A LA FRASE Y DE ESTA AL TEXTO Y SU COMPRENSIÓN

9. LA EMOCIÓN DE LAS PALABRAS

10. APRENDIENDO A LEER

11. CON UN LIBRO ENTRE LAS MANOS: LEYENDO CON FLUIDEZ

12. ¿CÓMO LEE UNA PERSONA QUE NO VE? «RECABLEANDO» EL CEREBRO

13. ¿QUÉ OCURRE EN EL CEREBRO DE LOS NIÑOS QUE NO LEEN BIEN? A LA BÚSQUEDA DE INTERVENCIONES PLÁSTICAS TEMPRANAS

14. CEREBROS, LECTURAS, INTERNET, EDUCACIÓN Y BELLEZA

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

CRÉDITOS

El destino de muchos hombres ha dependido de que en su casa paterna haya habido o no una biblioteca.

Edmondo D’Amicis

Una niña le dice a su gato:
«Voy a entrar a este libro».
Y el gato le contesta:
«¿No querrás decir que lo vas a leer?».
«Nop» —contesta la niña. Y añade—: «Si un libro es bueno te deja entrar. Por eso (los libros) tienen forma de puerta».

Liniers, *Macanudo*

PRÓLOGO

Déjenme que les cuente algo. No tendría yo más de 4 años cuando comencé a sufrir el castigo de la lectura en el colegio. De lo muy poco que recuerdo de entonces es que no lo pasaba nada bien. Aquello me parecía extraño y ajeno, incluido aquel maestro mayor, de voz cascada y monótona. Todo me resultaba impuesto, y a mí lo que me gustaba en aquel entonces era jugar, corretear y reírme. Lo de las letras escritas en la pizarra y su lectura sonora era como un juego malo. Un juego sin gracia, con poco sentido, seco, repetitivo y tonto. Me aburría. Es verdad que debía de tener buena memoria y gracias a ello salvaba con relativa facilidad todo aquello recordando las letras que repetía el maestro. O al menos así lo creía yo.

Lo cierto es que no debía de avanzar muy bien en la lectura, pues en casa no estaban muy contentos con mis progresos en el «cole». Esto debió de ser lo que llevó a mis padres a buscar un maestro que me diera clases particulares. Desgraciadamente, sin embargo, estas clases fueron para mí todavía más aburridas que las del colegio, pues recortaban aún más mi tiempo de juego, que es el que yo disfrutaba tras llegar a casa. Recuerdo tardes insufribles tras no entender por qué el maestro había decidido martirizarme con la comprensión directa de las palabras escritas. Debió de pensar, supongo, que, ya que en el colegio estaba aprendiendo las letras y las sílabas (desde abajo), enseñarme las palabras y su significado (desde arriba) sería una gran ventaja para acelerar el proceso de la lectura. El caso es que el maestro comenzó a enseñarme a leer directamente con *El Quijote*. Y empecé, sin deletrear, a reconocer las palabras, a pronunciarlas y saber su significado, pienso que por pura fotografía memorística de las palabras mismas. Todavía recuerdo todo aquello con cierta desazón.

La verdad es que, tras este período temprano de mi vida —tendría yo entonces ya cinco o seis años—, mis padres me cambiaron a un nuevo colegio. Y es de él de donde arrancan mis momentos de alegría en relación

con la lectura. Recuerdo con claridad la facilidad con que las letras (escritas) se unían formando sílabas y cómo estas cobraban vida al pronunciarlas después de oírlas por boca del maestro. Y cómo las sílabas, unidas unas con otras y como por magia, formaban las palabras, con sus significados y emociones. Y cómo, después, las palabras se unían, sobre un trozo de papel, creando como en un espejo ese mundo «real» que ya conocía por el mismo lenguaje oral. Y ya tiempo más tarde las palabras, en secuencia, como barquitos en un mar de comunicación, formaban un texto. Y todavía más allá la riqueza infinita que cobraba lo escrito encontrándose definitivamente y haciéndose «uno» con el propio lenguaje. Todo ello fue, entonces sí, como una cierta luz que iluminó un mundo nuevo. Y, con él, la alegría de mi primera Navidad, en la que, por saber leer bien, mis padres me regalaron varios cuentos, de los que recuerdo uno en particular (quizá por estar escrito en letras grandes y con muchos dibujos de colores) que se titulaba *Gambrinus, el rey de la cerveza*. El cuento de Gambrinus se perdió, pero no la copia de *El Quijote* con la que, creo, di, verdaderamente, mis primeros pasos con la lectura. La tengo en mi biblioteca, tal cual me la dio mi madre mucho tiempo después. El libro, de letra pequeña, con algunas páginas arrugadas y con manchas, tiene el lomo deshilachado, ha perdido las tapas y le faltan, además, algunas páginas, sobre todo del principio y el final. Pero allí lo tengo, sin ni siquiera encuadernarlo de nuevo, envuelto en papel de celofán, guardado con mimo y cariño. Hoy, con lo que conocemos del cerebro y los métodos de enseñanza de la lectura, presumo que muy poca gente podría contar una historia parecida a esta.

Este libro sobre la lectura está escrito bajo el foco de dos ideas básicas. La primera ha sido la de proporcionar al lector un conocimiento actualizado y, en la medida de lo posible, accesible sobre la lectura y el cerebro. Y la segunda, la de introducir los fundamentos neurobiológicos básicos del papel de la emoción en la lectura, un aspecto central frecuentemente omitido o muy poco tratado en la mayoría de los libros «sesudos» que tratan sobre este tema.

Siendo neurobiólogo y habiendo publicado ya algunos libros sobre neurociencia y humanidades (neurocultura), el tema de la lectura ha sido una idea que siempre estuvo rondando en mi cabeza. De hecho, la tenía

mentalmente guardada desde hacía mucho tiempo, en concreto desde que comenzara, allá por el año 2011, a trabajar en mi libro *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama* (que tan gratísima acogida ha tenido por parte de mis lectores, principalmente maestros, a quienes precisamente fue dedicado: «A los maestros, cuya labor tanto admiro»). Ya, desde entonces, he venido recopilando notas y bibliografía para este nuevo libro. Pero no ha sido hasta ahora, a la luz de los conocimientos que va aportando esa convergencia entre neurociencia y educación (neuroeducación), cuando he sentido que ha llegado el momento de abordar su escritura. Espero que *Neuroeducación y lectura: De la emoción a la comprensión de las palabras* sea de verdad un libro asequible y de interés para muchos lectores de amplia y diversa formación intelectual. Precisamente, pensando en facilitar su lectura, se ha incluido un glosario que define y aclara los conceptos más básicos de neurociencia utilizados en el texto.

Y, de nuevo, mi sincero recuerdo y admiración a los maestros. Recuerdo que expreso con cariño otra vez en la dedicatoria de este nuevo libro: «A los maestros, que nos enseñaron a leer y nos abrieron un mundo nuevo de emoción y conocimiento». Quiero agradecer una vez más a Ana María Sanguinetti de la Torre la paciencia en la lectura de los varios borradores de este libro y su labor en el diseño y realización de los esquemas que lo acompañan. Sus comentarios, además, como lectora, indicando muchas veces lo difícil que resultaba seguir algunos parágrafos «por su rigidez científica», han sido de un valor inestimable. También quiero agradecer sobremanera a ese lector incansable, amante y conocedor de lenguas y gramáticas (JSMS) que, aun a pesar de la poca disponibilidad de tiempo que le deja su trabajo, haya aceptado revisar la versión final del texto. Y finalmente, que no por ello la última en agradecimiento, a mi buena amiga Valeria Ciompi, quien acogió la idea de publicar este libro sin más palabras que las del cariño que siempre me dispensa.

1
NEUROEDUCACIÓN Y LECTURA:
La verdadera gran revolución humana

Leer y escribir ha sido la consecuencia de una necesidad. Necesidad de comunicación a largas distancias entre los seres humanos. Necesidad de guardar registros sólidos de eventos que hay que recordar mucho tiempo después de sucedidos. Necesidad de conectar, traspasada la barrera de la muerte, con ese «más allá» mágico. Leer es una necesidad nacida hace apenas unos 6.000 años. Una necesidad perseguida y cumplida que ha revolucionado el mundo en que vivimos. La lectura no tiene en su nacimiento base genética. Es un proceso cerebral que ocurre como consecuencia de una presión cultural selectiva y que tiene como base las propiedades intrínsecas, plásticas, del cerebro. Leer es percibir, sentir y conocer el mundo a través del descifrado de símbolos. Y es con la lectura, con lo leído, como el mundo ha tomado ventaja de la más grande y verdadera revolución humana. Una revolución que ha traspasado fronteras físicas, geografías, lenguas y culturas. Y transformado —lo que quizá sea lo más sobresaliente— la propia educación del ser humano. Capítulo, la educación, que hoy, con la neuroeducación, ha recibido un impulso acelerado con los conocimientos acerca de cómo funciona el cerebro. A esto último pretende ayudar la lectura de este libro.

Este libro es, al amparo de los conocimientos actuales acerca de cómo funciona el cerebro y en el contexto de la cultura en que vivimos, una aproximación a ese mundo apasionante que es la lectura. Sin duda, la lectura es una de las mayores revoluciones silenciosas de la humanidad. Leer es un invento cultural reciente, que nació hace unos 6.000 años, curiosamente, más o menos al mismo tiempo que la idea de un «dios universal», esa otra gran revolución cultural (Mora 2011). Leer es un suceso histórico tan joven, de una progresión en el mundo tan acelerada y de tan genuina creación humana, que ha necesitado una nueva y rápida «rotulación» del cerebro. Posiblemente los seres humanos nunca habrían aprendido a leer y escribir si por razones evolutivas y culturales las poblaciones se hubieran quedado estancadas en grupos pequeños y aislados, sin comunicación posible y sin que su dependencia o vínculo con otros grupos lejanos hubiera sido requerida para su supervivencia. La escritura y la lectura debieron de nacer, pues, como exigencia ante la intensidad de las

relaciones humanas, cada vez más extendidas geográficamente. Es así este un fenómeno nacido bajo esa presión selectiva cultural al servicio de la «necesidad» de una comunicación humana a largas distancias, más allá del lenguaje oral, corto (boca a boca). Necesidad que, claramente, ha tenido como sustrato los impulsos emocionales nuevos de la propia supervivencia humana. Y con ello, paralelamente y sin duda, esa otra «necesidad» de implementar las memorias individuales o de grupo con mensajes «fieles» y «sólidos». Solidez, firmeza y seguridad que permanecen en lo escrito sobre eventos importantes ya sucedidos, puede que hace mucho tiempo. Las palabras habladas, como señala el dicho, «se las lleva el viento».

Nadie nace con un cerebro genéticamente diseñado para la lectura. Contrariamente a lo que sucede con el lenguaje oral, que viene preprogramado genéticamente y se adquiere de modo espontáneo (un niño aprende a hablar, como todo el mundo sabe, con solo escuchar hablar en su entorno), la lectura no aparece por el dictado de genes que posean códigos cuya expresión abra por completo los intrincados caminos neuronales del cerebro para poder leer. Leer, y desde luego leer bien o muy bien, requiere un laborioso proceso de aprendizaje, atención, memoria y entrenamiento explícito que dura años e, incluso, gran parte de toda la vida si se aspira a leer de un modo altamente eficiente. Como ya hemos señalado, leer es un proceso que al no estar genéticamente codificado (y, por tanto, no es transmitido por la herencia) se repite costosamente en cada ser humano y necesita cada vez del trabajo duro del aprendizaje y la memoria. La cultura, así, ha alcanzado un hito nunca antes logrado por la biología misma a lo largo del proceso evolutivo. Es decir, que el hombre ha inventado, más allá del lenguaje oral, un nuevo y poderoso mecanismo de comunicación y, con ello, una influencia y capacidad de transformación potente y activa del devenir humano en todo el orbe.

Comenzamos a darnos cuenta, y de una manera cada vez más firme y sólida, de que el mundo humano, en toda su dimensión, individual y social, se construye no solo a través de lo «vivido» sino también, y de modo cada vez más influyente, a través de lo «leído». Frente al lenguaje oral, construido en el cerebro a golpes genéticos lentos y azarosos y durante un proceso muy largo en el tiempo, de más de dos millones de años, la lectura

ha sido un fenómeno rápido y reciente (nacido hace apenas unos 6.000 años) que ha florecido bajo un determinante cultural y que aun así ha cambiado casi de raíz al ser humano y ha permitido crear un mundo más libre. Un nuevo mundo que, a su vez, ha transformado, de un modo acelerado, al propio hombre y el medio social en el que vive. Y desde luego con un impacto nunca antes imaginado en la forma de concebir y transmitir la instrucción (aprender y memorizar) y la educación (valores, normas y hábitos éticos). Ese es el mundo de la lectura.

Leer es percibir, conocer y sentir el mundo a través del descifrado de símbolos grabados en piedra, mármol, papel o metal. Contrariamente al lenguaje oral, siempre abierto y con, al menos, otro interlocutor, leer, parafraseando a Alberto Manguel, es un «acto privado», aun cuando también pueda tener lugar en público. En cualquier caso, pocos imaginan la realidad cerebral que subyace al proceso de la lectura. La capacidad para leer recala en las propiedades plásticas (del latín *plasticus* y este del griego *plastikós*, que significa, realmente, ‘cambio’, es decir, ‘que forma o da forma’) del cerebro, que, como consecuencia de todo proceso de aprendizaje y memoria, produce nuevas ramas en sus neuronas (dendritas) y con ello nuevas conexiones interneurales (sinapsis) que derivan en un «nuevo recableado» de determinadas redes neuronales. Cambios en cuyo sustrato biológico último participa la propia epigenética, la acción de moléculas (metilos y acetilos) que al unirse a ciertos genes pueden bloquearlos o activarlos. Cambios que suceden, específicamente, en las áreas sustrato de la lectura como consecuencia de su aprendizaje. Realmente, sin embargo, esta plasticidad es un proceso universal de la naturaleza de cada neurona que viene codificado en su propio genoma. Esto quiere decir que cada área o red neuronal del cerebro es intrínsecamente susceptible de sufrir estos cambios plásticos como resultado de la conducta de cada individuo y su interacción con el medio que lo rodea. En particular, y en relación de nuevo con la lectura y su aprendizaje, veremos cómo estos mecanismos plásticos son capaces de transformar o cambiar redes neuronales que, genéticamente, vienen diseñadas en el cerebro para procesar y elaborar funciones, como la de detectar las formas de objetos o

caras, por otras nuevas que son, en este caso, las dedicadas a procesar las letras y las palabras.

Un capítulo central en este libro, en relación con la lectura, es la emoción. La emoción es un tema poco tratado en los libros que hablan de las bases cerebrales de la lectura, inclusive en aquellos altamente especializados como son los de neurofisiología, neuropsicología o lingüística. Y este, he pensado, es el momento y la oportunidad de hacerlo de un modo más específico. Dejando aparte otros considerandos que iremos viendo en los varios capítulos que siguen, es obvio que las palabras escritas en un determinado texto también tienen (como una conversación o un discurso oral) contenido emocional. Sin la emoción inherente a las palabras se pierde el verdadero sentido de lo escrito. Es más, la esencia de lo escrito no se hace posible. Y no me refiero solo a la prosodia (acento, tono de las palabras) en un texto, sino al significado emocional pleno de un determinado escrito (que te puede hacer sonreír, reír, llorar, indignarte). Y es así como leer, transmitir un mensaje simbólico impregnado de emoción, ha sido la gran y verdadera iluminación lenta que ha acompañado a todas las lenguas y culturas. Y es con todo ello como el pensamiento y el sentimiento han recorrido, en trasiego infinito y constante, todos los rincones del planeta, creando al final otro mundo que, más allá de la lucha por la supervivencia, con su locura y su muerte, ha dado alegría, placer y belleza.

De hecho, los cambios producidos por la lectura en las sucesivas culturas no tienen precedente alguno en la historia. Cambios que han transformado la educación de los niños de cualquier edad y al propio hombre adulto a lo largo de su larga curva vital. Y es con la lectura como muchos lectores, con unos buenos libros entre las manos, han cambiado su personalidad de un modo pausado y constante. Libros y lecturas que son un universo vario, diferente, concreto y cerrado tantas veces, abierto y disperso tantas otras, y que discurre desde lo técnico y lo profesional en los ensayos y pensamientos más abstractos hasta ese vasto e inagotable campo de lo lúdico, de cuentos y novelas en los que se evocan percepciones, conductas, planes, cálculos, imágenes, emociones y sentimientos, y por supuesto, en ellos también, ese infinito abanico de valores éticos que, salpicados de

deseos y pasiones, odio, celos, sexualidad y perversiones, alcanzan esos otros grandes y extensos capítulos de la libertad, la dignidad, la igualdad, la nobleza, la justicia, la verdad, la belleza, el amor, la felicidad. Es así como cada persona cambia, lo repito, no solo en función «de lo vivido» sino también «de lo leído». Y cómo con el cambio de cada uno cambia también la esencia y la verdad del mundo en que vivimos. Cambiemos, pues, con la lectura, ya que con ese cambio «lento y permanente» y cocido en silencio nos daremos realmente cuenta de que los demás están tan vivos como nosotros mismos. Parafraseando a William Shakespeare (1564-1616), yo diría: «Lee y cambia tu pensamiento para que yo también pueda cambiar el mío».

La emoción en las palabras, sean estas habladas o escritas, va mucho más allá de lo reseñado. Tanto como para que hoy ya sepamos que sin emoción no hay propiamente procesos mentales bien ensamblados y coherentes, ni tampoco ese mundo, tan genuinamente humano, que son los sentimientos. Con todo esto, lo que trato de decir es que ya no se acepta que emoción y cognición sean dos mundos mentales separados. Hoy ya sabemos bien que los elementos básicos del pensamiento, que son las ideas, no se construyen propiamente sin ese calor que llamamos «emoción». Ya lo señaló Edward O. Wilson (1929) hace algún tiempo: «Sin el estímulo y guía de la emoción, el pensamiento racional se enlentece y desintegra. La mente racional no flota por encima de lo irracional, no puede liberarse y ocuparse solo de la razón pura». Todo esto tiene mucho que ver con la lectura y, desde luego, con la vida misma. Por eso a la emoción no solo se le dedica un capítulo específico en este libro, sino que esta también fluye a todo lo largo de él.

Y todo esto, sin duda alguna, entronca con ese nuevo y bienvenido campo de estudio que es la neuroeducación. Capítulo sólido, yo diría, de esa nueva dimensión de la cultura occidental (neurocultura) que ya engloba en su corta historia a la neurofilosofía, la neuroética, la neuroeconomía (o ciencia de las decisiones) o la neuroestética. Yo creo que ya nadie podría discutir seriamente que la lectura es cuerpo definitivo de ese campo temático que es la neuroeducación. Y en él hay que reconocer ya de entrada que el ser humano es lo que la educación hace de él. Educación que, bien

entendida, comienza desde el mismo nacimiento de un niño, desde que interactúa con el medio ambiente que lo rodea, principalmente los padres y, todavía más concretamente, la madre. La neuroeducación nos señala la importancia de esos mecanismos que son la emoción ya referida y, con ella, ese chispazo de la curiosidad que conduce a la apertura de esa ventana que es la atención. Y con la atención, la puesta en marcha de los mecanismos conscientes que nos llevan al aprendizaje y la memoria explícita. Y más adelante, con esa guía insustituible que es un buen maestro, llegamos a clasificar lo aprendido y memorizado adquiriendo un conocimiento sólido. Todo ello esencia de la misma lectura y su aprendizaje.

Es así como en este libro trataremos de esos angulosos vericuetos del cerebro por donde corretean las letras formando las palabras, encendiendo con ellas una nueva luz para uno mismo y el universo que contempla. Y de cómo el mismo cerebro extrae de las palabras una emoción y luego un significado que ellas mismas no tienen. Y así es como la persona se vuelve consciente de esas emociones, sentimientos y significados. Y veremos, a lo largo de los capítulos que siguen, cómo el lenguaje continúa con la lectura. Y cómo se aprende a leer. O cuáles son las bases neurobiológicas, aún no bien conocidas hoy, de la lectura fluida. Y también cómo el cerebro «reinventa» caminos cerebrales nuevos que logran que una persona ciega de nacimiento no solo pueda leer bien, sino que alcance una velocidad de lectura similar a la de la persona que ve. Y también cómo es posible intervenir temprano para «recablear» el cerebro de los niños que no leen bien y mejorar e incluso revertir su problema cerebral.

Y todavía más allá, descubrir nuestra propia historia, pues leer es vivir no solo mundos nuevos, sino alcanzar infinitos otros mundos humanos ya pasados y perdidos. Me encanta cómo describió esto Umberto Eco (1932-2016): «El que no lee, a los 70 años habrá vivido solo una vida. Quien lee, habrá vivido 5.000 años. La lectura es una inmortalidad hacia atrás».

2
UNA RÁPIDA MIRADA AL CEREBRO

El cerebro humano es el resultado de un largo proceso azaroso y determinado por aconteceres del medio ambiente cuyo norte, siempre perseguido por la naturaleza, ha sido mantener la supervivencia del individuo y de la especie. Eso es la evolución biológica. Este capítulo pretende ofrecer algunos fundamentos que engloben los andamios neuronales básicos y muy selectivos (anatómicos y funcionales) en el contexto de la lectura. El cerebro humano es muy diferente, tanto en peso como organización neuronal, al del resto de los seres vivos, incluyendo los antropoides. Esto justifica las diferencias que existen en la percepción, la emoción y el conocimiento entre el ser humano y el resto de los seres vivos actuales. Se habla en este capítulo de las ventanas plásticas o períodos críticos que suceden a lo largo del arco vital de cada ser humano y que son fenómenos importantes con implicaciones funcionales para el desarrollo normal de los individuos. Y se mencionan las características de ambos hemisferios del cerebro, derecho e izquierdo, con sus diferentes áreas cerebrales. También se ofrece una perspectiva relativamente amplia acerca del sistema límbico-cerebro emocional y sus funciones y relación con la curiosidad y la atención y memoria ejecutivas, funciones todas ellas implicadas en el lenguaje y la lectura. Y, finalmente, se mencionarán los conceptos básicos sobre la plasticidad cerebral, lo que se refiere, en su esencia, a la capacidad de las neuronas de ser modificadas, es decir, cambiar en su física y su química, anatomía y fisiología, como resultado de los procesos de aprendizaje y memoria que realiza el individuo y que son diferentes en cada uno. La plasticidad es un proceso o propiedad cerebral universal, general de toda neurona, genéticamente programada y adaptable a las experiencias vitales de cada ser humano. Y es, además, la esencia de los sustratos neuronales de la lectura, que se desarrollarán en otros capítulos de este libro.

Pocos dudan ya que el cerebro humano es el resultado de un largo proceso evolutivo. Un proceso que ha durado muchos millones de años y que, en esencia, ha tenido su base tanto en cambios genéticos azarosos, lentos pero constantes (mutaciones genéticas), como también en marcas epigenéticas y determinantes del medio ambiente. El resultado, todavía inacabado, ha sido un cerebro grande, enorme, en relación con el tamaño de su cuerpo, lo que significa que tiene el coeficiente de encefalización más alto de toda la escala de los seres vivos. Esto último quiere decir que el cerebro del ser humano es, más o menos, siete veces más grande o, si se quiere, que pesa siete veces más que el cerebro de cualquier otro mamífero vivo de igual o similar peso corporal. Explicándolo de otra manera, el cerebro humano,

comparado con la relación media que existe entre el peso del cerebro y el peso del cuerpo de una larga muestra de mamíferos, pesa 7,5 veces más de lo que le correspondería por el peso medio de su cuerpo, que son unos 70 kilogramos. Y tomando otra perspectiva, también se podría decir que al ser humano actual, con sus 1.450 gramos de peso de cerebro, atendiendo a esa misma relación media entre el peso del cerebro y el del cuerpo que tienen en general los mamíferos, le correspondería un peso corporal de alrededor de una tonelada, es decir, el de un rinoceronte o el de un hipopótamo.

A lo largo de su proceso evolutivo, el cerebro humano ha sufrido, junto y en paralelo a ese aumento de su tamaño, una reorganización anatómica y funcional constante, fundamentalmente en la corteza cerebral (Mora 2008). Todo esto ha determinado que, claramente, el cerebro humano sea diferente del resto de los cerebros del mundo animal, incluyendo el de sus más próximos congéneres vivos, que son los antropoides (chimpancés, orangutanes, gorilas y gibones). Es evidente que todos estos cambios del cerebro humano constituyen la base de la diferente fisiología en la percepción, las emociones-sentimientos, el pensamiento, el conocimiento, el lenguaje, la lectura, la escritura y la conducta del ser humano respecto a estos mismos animales. Y del mismo modo que hay un proceso evolutivo en el que se han generado los códigos de funcionamiento del cerebro del hombre actual (de la especie), se han producido otros códigos relativos al propio desarrollo individual (ontogénico) del cerebro en cada vida humana. De entre los muchos de estos códigos yo destacaría aquí, por su relevancia en el tema central que nos ocupa, la lectura, el de los mecanismos plásticos del cerebro (dendritas, sinapsis y neurotransmisores, y la interacción de todo ello con las células de la glía, principalmente los astrocitos). Códigos, estos últimos, que vienen modulados, de modo más poderoso, por el medio ambiente en el que vive el individuo (familia, sociedad, cultura).

En este desarrollo ontogénico, el cerebro de cada ser humano tiene una larga trayectoria que se inicia dieciséis días después de la concepción y culmina con la muerte. Trayectoria durante la cual, desde su etapa inicial, se va gestando la maduración de ese cerebro hasta alcanzar la organización neuronal del adulto. En ese período temprano, el cerebro experimenta cambios y recambios, tanto de neuronas como de las células de la glía y

también de las células productoras de mielina, que es la sustancia con la que se aíslan las terminales de las neuronas (axones) y que permite y favorece la transmisión nítida de la información de unas neuronas a otras. Es al final de estos axones donde las neuronas establecen «contacto funcional» con otras neuronas a través de las arborizaciones finales de dichos axones y las ramas (dendritas) de las otras neuronas con las que contactan, formando lo que se conoce como «sinapsis». Entre la terminal axónica y las dendritas de las diferentes neuronas (las sinapsis) no hay contacto físico directo, sino un espacio abierto conformado, por un lado, por una terminal axónica (presinapsis), un espacio, y, por otro, una terminal dendrítica (postsinapsis). La liberación de una sustancia química (neurotransmisor) por parte de la terminal presináptica en el espacio (intersináptico) interactúa, después, con los receptores específicos que se encuentran en la terminal postsináptica. En los primeros años del desarrollo, durante la etapa de maduración, se ha estimado que podría haber un crecimiento de sinapsis en el cerebro de aproximadamente 50.000 por segundo. Este crecimiento, genéticamente programado, viene modulado por la interacción entre los genes y el medio ambiente; modulación que termina configurando los circuitos y redes neuronales que codifican para funciones específicas. Y es con la actividad de estas redes y sus cambios a lo largo de todo el arco vital humano como se va creando el genuino cerebro individual de cada uno.

Ese proceso individual de maduración y la puesta en marcha de funciones diferentes concurren en un fenómeno que se conoce como «períodos críticos» o «ventanas plásticas». Estos son procesos que comienzan en un determinado momento de tiempo (apertura de la ventana) y que tras, supuestamente, haber desarrollado esa función específica en su interacción con el medio ambiente se cierran. Son períodos durante los cuales el individuo, si no ha tenido la relación correspondiente con su entorno específico, difícilmente podrá desarrollar ciertas capacidades. Períodos, además, que ocurren no solo a lo largo de la etapa propiamente del desarrollo (desde el nacimiento hasta la edad adulta), sino también a lo largo de la edad adulta y hasta en la misma vejez, y desde luego en este último período de la vida, relacionados con la aparición de las patologías

neurodegenerativas que pueden afectar a muchas y diversas funciones del cerebro.

Un buen ejemplo de ventana plástica es el fenómeno del así llamado *imprinting*, que poseen todos los mamíferos y las aves. Mucha gente conoce los experimentos del Premio Nobel de 1973 Konrad Lorenz (1903-1989) en los que, gracias a los vídeos, se le puede observar esperando recostado, próximo a unos huevos de oca ya fecundados, hasta su eclosión. Cuando esta última (la eclosión) tiene lugar y nacen las pequeñas ocas, Lorenz se levanta y comienza a caminar, y entonces se puede ver cómo todas las ocas recién nacidas, espontáneamente, empiezan a andar detrás de él, una detrás de otra en fila india. Este fenómeno, en la naturaleza, ocurre con las aves (hembras) y sus crías. Los patitos, en otros ejemplos, siguen a la madre o nadan junto a ella, de quien aprenden, bajo su tutela y protección (seguridad biológica), los primeros estímulos y elementos básicos del entorno para mantener su supervivencia (a alimentarse o a evitar a los depredadores). Pues bien, esta ventana plástica —que es plástica porque el tiempo que permanece abierta es muy variable dependiendo de diversos factores del ambiente (Mora 2008)— viene a durar en las aves solamente alrededor de una hora tras la eclosión del huevo. Pasado este tiempo, la ventana se cierra y el fenómeno *imprinting* ya no se produce. Los seres humanos también tenemos un *imprinting*, que es el reconocimiento selectivo de la voz de nuestra madre (reconocimiento que permite, de nuevo, la identificación de la fuente de seguridad que ya hemos mencionado). Sin embargo, este fenómeno, en el caso de los seres humanos, es más largo en el tiempo: viene a extenderse durante todo el primer año tras el nacimiento del niño.

Hoy se conocen muchos tipos de períodos críticos. Es más, se conoce la existencia de períodos críticos en el transcurso de los cuales hay, a su vez, subventanas plásticas que se suceden con el tiempo (tal es el caso, por ejemplo, por lo que respecta a la visión, en relación con la percepción de la forma, el color o el movimiento de lo que se ve). En el contexto de este libro y en referencia a las ventanas plásticas, es relevante mencionar los casos del lenguaje y de la lectura. En el caso del lenguaje (ventana plástica que corre desde el nacimiento hasta prácticamente entre los siete y los doce años), existen subventanas relacionadas con la adquisición de la semántica

(significado de las palabras), la sintaxis (construcción propia del lenguaje) o la prosodia y el colorido emocional de ese lenguaje. Muy sobresaliente (será más ampliamente analizado en las páginas que siguen) es el hecho de la lectura, que, contrariamente al caso del lenguaje, no posee ventana plástica o período crítico. Casi todo el mundo sabe que a partir de cierta edad (alrededor de los 5-6 años) se puede aprender a leer, y que esto es posible, además, a cualquier otra edad, incluidos los últimos períodos de la vida (80-90 años). Por supuesto, es evidente que este proceso de aprendizaje de la lectura, en relación con las capacidades plásticas del cerebro, es muy diferente, en sus muchos ingredientes, entre un niño y un viejo.

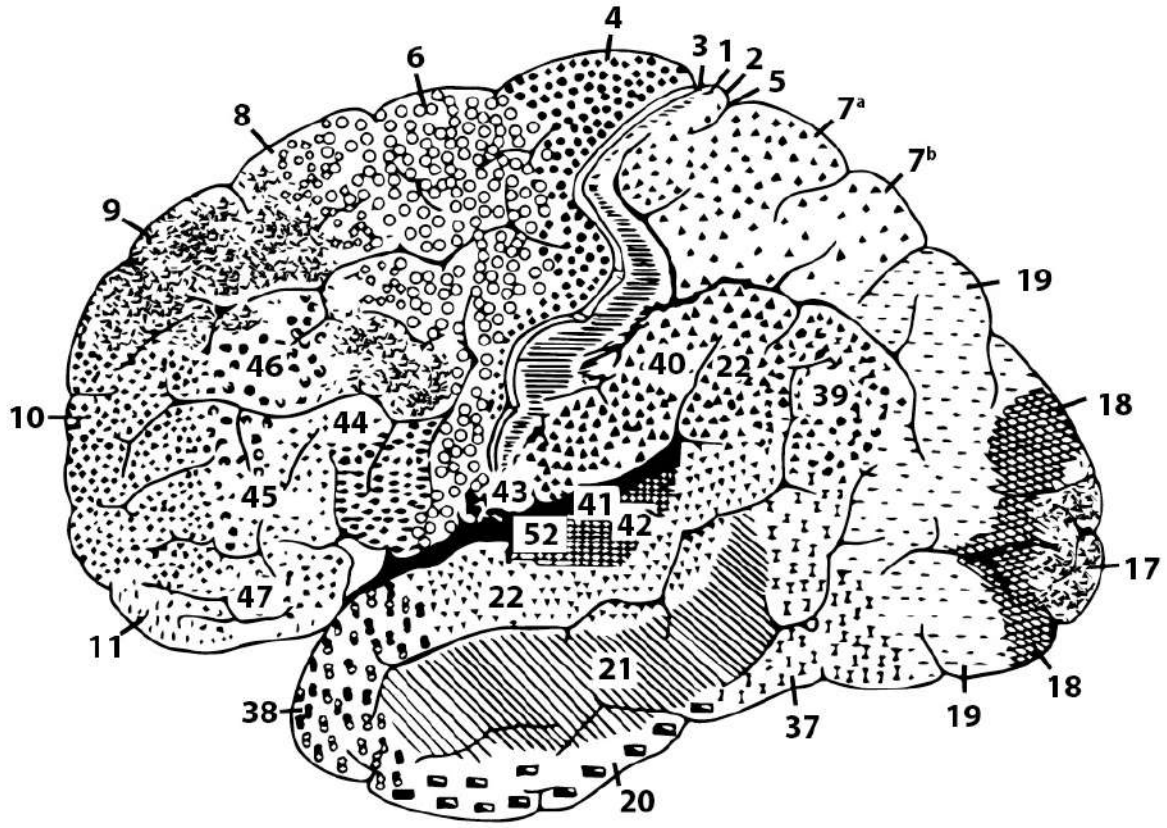

FIGURA 1. Localización de las áreas de Brodmann en una visión dorsolateral de la corteza cerebral humana.

El cerebro humano contiene unos 80.000 millones de neuronas formando redes o circuitos neuronales localizados en múltiples áreas cerebrales. En 1909 Korbinian Brodmann (1868-1918) subdividió la corteza cerebral en 52 áreas (véase figura 1) de acuerdo con la morfología de sus neuronas y su estructura fibrilar. Esto es relevante en el contexto de este libro porque se hará referencia constante a ello en relación con los aspectos cerebrales centrales de la lectura en particular. La corteza cerebral está compuesta anatómicamente por dos hemisferios cerebrales con funciones diferentes, el derecho y el izquierdo, unidos por una banda de fibras o axones (en número de un millón aproximadamente) conocida como «cuerpo calloso». Estas fibras permiten la comunicación de información constante entre ambos hemisferios dando lugar a un solo cerebro funcional real. Es cierto, sin embargo, que cuando ambos hemisferios cerebrales son desconectados como consecuencia de un tratamiento quirúrgico en pacientes con epilepsia severa e incapacitante (sección quirúrgica del cuerpo calloso), cada uno de ellos, derecho e izquierdo, opera acorde con sus propias funciones, que pueden ser analizadas en el laboratorio. Así, el hemisferio cerebral derecho —llamado también «hemicerebro creador» (nuevas ideas), «inconsciente», «mudo» (no se expresa con el lenguaje)— es, fundamentalmente, un cerebro global, que realiza interacciones de tiempos y espacios muy distantes entre sí y que procesa la información con un foco atencional básicamente inconsciente. Por todo ello se piensa que es el cerebro que da lugar a asociaciones de ideas que en un momento dado (acto creativo) se hacen conscientes. Las redes neuronales de este hemisferio producen en su funcionamiento asociaciones generadoras de nuevos ritmos, música, imágenes y dibujos. El hemisferio izquierdo, por su parte, es el cerebro «analítico», «consciente», «hablador». En términos muy generales se lo considera el hemisferio principal porque en él se asientan (en la mayoría de las personas) las redes neuronales más importantes que codifican para el lenguaje, la lectura y la escritura, así como la lógica y las matemáticas. Es el hemisferio «dominante».

Con todo, es el trabajo de conjunto de ambos hemisferios, como ya hemos apuntado antes, lo que da unidad a los procesos cognitivos o mentales de cada persona y a funciones como el habla o la misma lectura.

Tomando la lectura como ejemplo, ya veremos más adelante como desde el mismo comienzo de su aprendizaje y en la mayoría de los niños hay una dinámica cerebro derecho-cerebro izquierdo (los circuitos neuronales de ambos hemisferios se activan) para pasar después, con la mejora y el progreso de ese aprendizaje, a una actividad neuronal casi enteramente localizada en los circuitos del hemisferio izquierdo. Y todavía más adelante en el tiempo, y con la adquisición de la fluidez en la lectura (velocidad, precisión y seguridad), esta actividad se expande de nuevo a la actividad neuronal del hemisferio derecho. También esa parte importante de la lectura de los textos, la prosodia (pronunciación y entonación de las palabras), es principalmente codificada en el hemicerebro derecho. Todo lo explicado da cuenta del constante trasiego de información que existe entre ambos hemisferios, particularmente cuando se trata de funciones cognitivas altamente complejas.

Y de extraordinaria importancia en el funcionamiento del cerebro es la emoción. La emoción es esa función cerebral central que nos mantiene vivos. Sin la emoción, el ser humano o cualquier otro mamífero (o, incluso, podríamos decir, cualquier ser vivo) no sería capaz de responder ante situaciones de supervivencia básica (individual) o supervivencia de la especie, como pueden ser la ingesta de alimentos o agua, la sexualidad o la defensa o el ataque ante una amenaza. Pero la emoción no es solo la reacción ante un determinado estímulo externo o interno (por ejemplo, un recuerdo), sino también un poderoso mecanismo de comunicación utilizado por todos los mamíferos desde hace ya un largo tiempo evolutivo, que puede ser estimado en alrededor de 250 millones de años (y hasta 450 millones de años según algunos estudios recientes realizados con el neurotransmisor dopamina en los ganglios cerebrales de invertebrados). La emoción, además, es ese fuego que calienta, envuelve y da sentido último a la razón, al pensamiento y a los procesos mentales (Mora 2017). La emoción no es solo la energía o reacción que mueve la conducta («hacia fuera», tomando el ejemplo de alguien que nos ataca) sino que es base del procesamiento de información «hacia dentro», dando «color» y sentido emocional al pensamiento. Y todo esto se fundamenta en el hecho de que cuanto procede del mundo sensorial (lo que vemos, oímos, tocamos,

degustamos u olemos) solo cobra significado —bueno o malo, placentero o desagradable— cuando, tras ser elaborado en las correspondientes áreas sensoriales de la corteza cerebral, pasa al llamado «cerebro emocional» o «cerebro límbico». Aquí, en este cerebro límbico, es donde las sensaciones y percepciones de los estímulos originados en el mundo (objetos, cosas, plantas, animales, con sus correspondientes atributos de forma, color, movimiento, sonido) se tiñen de ese significado emocional inconsciente que acabo de señalar y del que, hasta entonces, carecían. Y es después, tras pasar el análisis del cerebro emocional, cuando esta información alcanza las áreas de asociación de la corteza cerebral donde, a la luz de los mecanismos neuronales de la consciencia, se construyen los abstractos, las ideas, los conceptos. Con las palabras escritas, esos «objetos simbólicos» con los que se construyen los mensajes en la lectura, sucede otro tanto. Es decir, que lo mismo que con los objetos, cosas, plantas o animales que acabamos de mencionar ocurre en el caso de las palabras. Y son estos «objetos mentales», las palabras, construidos con las letras y la ortografía (en la así llamada «VWFA», *visual word formation área*, ‘área visual de formación de palabras’, que analizaremos ampliamente en los capítulos que siguen), los que pasan a ese mismo sistema límbico-cerebro emocional, en donde, al igual que una guitarra, una pera, un león o un ser humano, adquieren los significados emocionales. Especialmente relevante, en este contexto de la emoción, es la amígdala, puerta principal de entrada de la información sensorial al sistema límbico (cerebro emocional). La amígdala no es solo en sí misma una red importante de procesamiento de esa información y su marcador emocional, sino que también desde ella la información se distribuye a las diferentes áreas de la corteza cerebral, lo que incluye las áreas que procesan el lenguaje y la lectura (Pessoa 2008), como se puede ver en la figura 2.

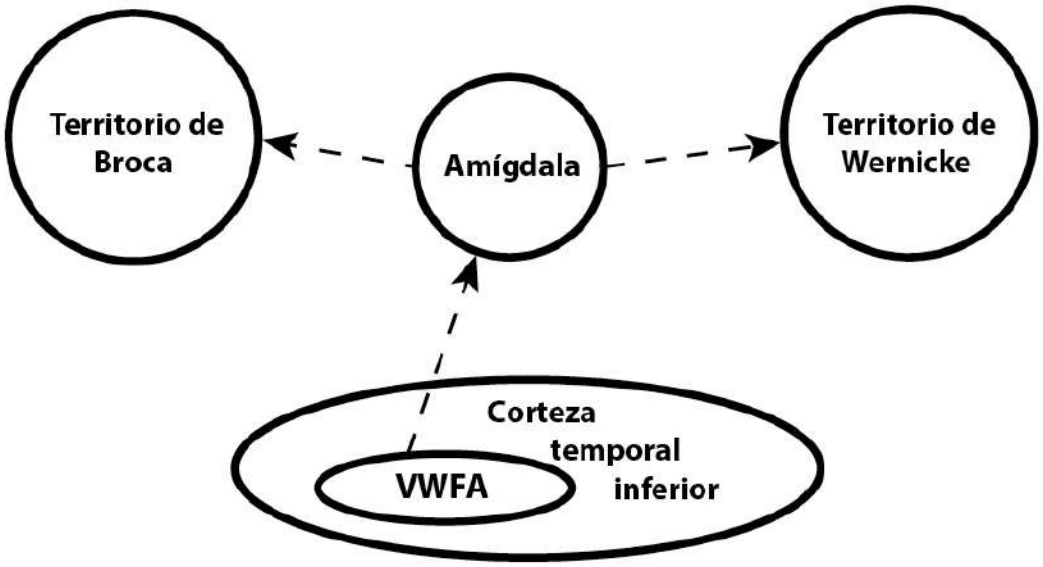

FIGURA 2. Hipótesis muy esquemática sobre el flujo de información en el procesamiento del significado emocional de las palabras. VWFA: área visual de formación de palabras (situada en la corteza temporal inferior). Tras la formación de las palabras en la VWFA, estas pasan a ser procesadas por la amígdala, en donde adquieren significado emocional (inconsciente). Tras ello las palabras pasan a ser procesadas en los territorios de Wernicke y de Broca.

Dos «improntas» clave del «cerebro emocional» a toda la información que procesa es el despertar de la curiosidad y, tras ella, el proceso de la atención. Este último incluye a las palabras: de ahí que ya podamos entrever que sin emoción no podríamos leer propiamente ningún libro, pues lo que nos lleva a la lectura, y nos mantiene en ella, es esa curiosidad, ese «chispazo emocional», primero inconsciente, que puede despertarse ya antes de tener un libro entre las manos, bien sea por lo que previamente nos han contado sobre él o sobre su autor, bien por las referencias leídas en internet o que hayamos visto en la librería. Es luego, con la curiosidad encendida y al comienzo de la lectura, cuando se despierta (o no) lo que de verdad es fundamental, que es la atención (Mora 2017). La atención es como una ventana que se abre a resultas de la curiosidad (despertar emocional). Es este un proceso automático que todo el mundo reconoce por pura observación. Es decir, se presta atención a todo aquello que representa estímulos nuevos, diferentes, que sobresalen del entorno y rompen la monotonía haciendo con ello al individuo consciente de lo que lo rodea. Precisamente por eso es con la atención encendida como se puede ser

verdaderamente consciente de lo que se lee. Es con la atención como se aprende y memoriza y se crea conocimiento. Hoy conocemos parte importante de los sustratos cerebrales de estos procesos (Mora 2008, 2017).

Y algo más sobre la curiosidad y la atención. La curiosidad está casi siempre presente en la conducta del ser humano. Es, claramente, una propiedad intrínseca al funcionamiento del cerebro del mamífero, y el ser humano lo es. El ser humano es en su esencia un «ser curioso» que explora casi todo lo que está a su alcance y lo hace a lo largo de toda la vida, desde muy pronto en la niñez hasta la misma vejez. Pero, además, el ser humano, con su poderoso pensamiento, empujado por la curiosidad, va más allá de la inmediatez de lo que lo rodea, y procede a investigar aquello que se encuentra lejos, aun sabiendo que probablemente nunca lo llegará a conocer. Y esto no solo significa viajes y exploraciones a lo largo y ancho de nuestro globo terráqueo, sino también, y de modo especial, la investigación científica, esa constante y curiosa desazón intelectual por indagar acerca de lo que, en gran medida, no se ve ni se toca. Precisamente, la investigación científica es, quizás (y, sobre todo, por sus consecuencias para el bienestar humano), una de las tareas humanas más nobles. En cualquier caso, la neurociencia nos señala que la curiosidad, en general, tiene su pivote central en la emoción, y en esta, los mecanismos cerebrales del placer y la recompensa. Hoy sabemos que con la curiosidad y la intensidad del estímulo curioso se liberan neurotransmisores, en particular dopamina, en varias áreas cerebrales y en cantidades proporcionales a ese estímulo a través de vías neurales específicas, como la vía mesencefálica (mesencéfalo-núcleo accumbens) y la mesocortical (mesencéfalo-corteza prefrontal).

Por otra parte, la atención es un mecanismo neuronal que también se activa automáticamente ante cualquier estimulo que genere curiosidad. Ningún proceso conducente a aprender, memorizar y alcanzar conocimiento consciente se puede realizar sin el paso previo de la activación de los procesos neuronales de la atención. Sin ella no hay aprendizaje, ni memoria explícita, ni conocimiento. El mecanismo de la atención consiste en el ensamblaje funcional de un racimo de neuronas en la corteza cerebral que interactúan con las neuronas del tálamo y el tronco del encéfalo (áreas

origen de las vías neuronales de la recompensa y el placer que acabamos de mencionar), que ponen en marcha, a su vez, el mecanismo de la consciencia, del «saber consciente» de lo que se ve o escucha, o lo que se lee. La atención se ha tratado de explicar muchas veces con el símil de la luz y las sombras. Imaginemos, por ejemplo, que nos encontramos en una habitación totalmente oscura y, por tanto, sin ver ni poder ser conscientes de cualquier cosa que pudiera ocurrir en ella. Y sigamos imaginando que, de pronto, se encendiera un foco pequeño de luz. Es evidente que esta luz nos permitiría ver algo de lo que allí hay y «saber», ser conscientes de lo que vemos. Pero también es evidente que, fuera de ese pequeño espacio iluminado, seguiríamos sin ver nada, y no seríamos conscientes de nada. El foco de luz destacaría lo que ilumina dejando en la penumbra todo lo demás. Y así funciona, precisamente, la atención, un foco que se activa automáticamente en el cerebro tras ese encendido emocional o «chispazo emocional» que ya hemos comentado y que llamamos curiosidad. Pero es más: ese «foco cerebral» de nuestro cerebro se mueve encendiéndose y apagándose constantemente en todas las direcciones posibles del espacio e iluminando las distintas cosas que contiene la habitación. Cada movimiento de ese foco es único y diferente, con una duración de entre 60 y 250 milésimas de segundo. La atención sería, pues, algo así como una secuencia temporal de «fogonazos cerebrales» singulares y diferentes. Volveremos a hacer uso de estos conceptos y tiempos más adelante en relación, en particular, con la fluidez de la lectura.

En neurociencia cognitiva se habla hoy de muchos y diferentes tipos de atención (la atención base, de alerta, orientativa, ejecutiva, holística, digital), pero es la ejecutiva la que opera en el contexto del estudio y la lectura. Hoy conocemos parte de los circuitos neuronales que codifican para cada una de esas atenciones específicas y diferentes. En concreto, la atención ejecutiva tiene como sustrato neuronal varias áreas del cerebro. Entre ellas destaca, por un lado, la corteza prefrontal (toma constante de decisiones y cambio consecuente de estrategias mentales), que, en concierto con la corteza cingulada anterior (emoción-atención-intención-acción) (AB 24), evalúa el componente de las emociones en esas decisiones. Y, por otro, específicamente, la corteza prefrontal dorsolateral (AB9), sustrato de la

memoria de trabajo que permite mantener en mente los conceptos previamente leídos y que son imprescindibles para conectarlos y entender en contexto los siguientes conceptos que se leen. Las consecuencias de estos conocimientos neurobiológicos van más allá de la mera aplicación con la que podamos entender los sustratos neurales de la lectura, pues permiten ayudar (con los resultados de estudios utilizando test adecuados) a resolver el origen neurológico y psicológico de los procesos que alteran el progreso normal de su aprendizaje.

Curiosidad y atención van unidas a los mecanismos de aprendizaje y memoria. Es evidente que leer requiere un proceso de aprendizaje y memoria explícito, consciente, y que esto último depende de los mecanismos de la atención ejecutiva. Aprender a leer precisa, además, repetir mucho, constantemente, y equivocarse y rectificar mucho, constantemente. Y ello se justifica con los conocimientos que hoy se tienen en neurociencia sobre el fenómeno conocido como «potenciación a largo plazo» (LTP) (Kandel et al. 2013). Capítulo este que se engloba en ese otro, amplio, que conocemos como plasticidad cerebral (véase también en el capítulo 5, «Plasticidad cerebral: Caras luchando con palabras»). Y es que aprender y memorizar es algo intrínseco al proceso de la vida misma y que depende enteramente de estos «procesos plásticos» del cerebro. El valor máximo de aprender está unido a ese ser capaz de sobrevivir, y sin duda saber leer es precisamente consustancial hoy a la supervivencia social. Y todo esto es más que obvio para estimar «el valor» de la lectura en este mundo social complejo.

En su esencia, aprender y memorizar significa, a nivel cerebral (ya lo hemos introducido brevemente en el capítulo anterior), cambiar la física y la química de las neuronas involucradas en ese proceso conformando un recableado sináptico nuevo, o lo que es lo mismo en términos neurobiológicos, aumentar la eficacia sináptica (facilitar la comunicación) entre conexiones neuronales. Y esto ocurre en todas y cada una de las neuronas de todas las áreas y redes del cerebro susceptibles de realizar asociaciones de estímulos nuevos, como es el caso específico de las áreas sustrato neuronal de la lectura (capítulo 6). En guardar esas asociaciones nuevas y constantes consiste, precisamente, la memoria (sea memoria

consciente o inconsciente). La memoria, claramente, es el vehículo por medio del cual se guardan y se transmiten los conocimientos y se crea cultura. Son esos depósitos de hechos y sucesos, personales o colectivos, que nos permiten ser capaces de correlacionar el pasado con el presente y el futuro. Hasta hace unos pocos miles de años (y aun ahora mismo) ese tipo de memoria solo existía como «depósitos» en el cerebro de los viejos de una tribu, y era, de hecho, su verbo (el de los viejos) lo que constituía referencia y cultura viva. Ahora, esa memoria y la creación de cultura se realizan a través de la escritura y la lectura, sea en papel o en esa nube invisible que llamamos internet.

Hay (del mismo modo que hemos referido para la curiosidad, la atención o el aprendizaje) muchos tipos de memoria con sus correspondientes sustratos neuronales. Aparte de las memorias inconscientes o implícitas, existen otros tipos de memorias explícitas, conscientes, en función, por ejemplo, del tiempo (a largo o corto plazo) durante el que se es capaz de retener y evocar un suceso. Quisiera destacar aquí dos aspectos concretos. Por una parte, el hecho de que la memoria consciente a largo plazo, cuyo asiento anatómico más relevante es el hipocampo (una estructura del mismo sistema límbico o emocional), no alcanza su madurez hasta alrededor de los tres años de edad. Ello justifica que muy poca gente pueda guardar memorias explícitas de eventos ocurridos antes de esa edad. Y, por otra, que la memoria a corto plazo o memoria de trabajo, que es la que permite retener y manipular de forma temporal una información con la que hilar un discurso o una serie de pensamientos o razonamientos, es de particular relevancia en el proceso por el que adquirimos una mayor fluidez en la lectura.

Y estos son los aspectos más generales, dibujados a trazo grueso, de los principales ingredientes cerebrales que sazonan y acompañan el procesamiento central (áreas y circuitos neurales) de la lectura. Adentrémonos ahora, en los siguientes capítulos, en el análisis, más en detalle, de estos últimos.

3

EL LARGO CAMINO ENTRE EL LENGUAJE Y LA LECTURA:

Una pequeña historia

El lenguaje humano ha dado lugar a más de 7.000 lenguas diferentes vivas hoy en el mundo. La aparición del lenguaje es uno de episodios de más alto grado de significado humano biológico ocurridos a lo largo del proceso evolutivo. Un proceso genéticamente codificado y elaborado a lo largo de entre tres y dos millones de años. Proceso además que, en el cerebro, ha servido como base para la aparición de la lectura, de origen claramente cultural, no genético. En este capítulo se traza ese largo camino que comienza propiamente con los antropoides, cuyo origen se remonta a hace 5-6 millones de años, para, en el capítulo siguiente («Desgranando la lectura en el cerebro»), entender mejor la continuidad de ambos procesos, habla y lectura, en el cerebro. Aquí analizaremos la conducta de dos ejemplos paradigmáticos, un chimpancé común *(Pan troglodita)* y un bonobo *(Pan paniscus)*, y sus sorprendentes capacidades cognitivas, incluyendo las de comunicación y los rudimentos más primitivos del lenguaje. Después se abordan las historias de seres humanos perdidos cuando niños en la selva y que sobrevivieron conviviendo bien en colonias de chimpancés o con monos. Y también las experiencias de seres humanos aislados y sin contacto con otros que les hablaran y que son la base para conocer el origen propiamente ontogénico del lenguaje humano. De ahí se trazan, a través de los datos neuropaleontológicos disponibles (fósiles), las huellas del lenguaje dejadas en el cráneo de ciertos fósiles de homínidos *(Homo habilis)*, para describir después, muy brevemente, los complejos sustratos neurales del lenguaje en el cerebro del hombre actual. Se detallan los síntomas en el habla de personas con lesiones cerebrales, así como los datos obtenidos por la estimulación eléctrica cerebral en pacientes despiertos en el quirófano. Este recorrido termina con los estudios más recientes utilizando técnicas de registro altamente sofisticadas, como la resonancia magnética nuclear y la magnetoencefalografía, trazando con ello el cuadro, aun siquiera provisional, de los sustratos del lenguaje oral.

El lenguaje es uno de los fenómenos más fascinantes aparecidos a lo largo del proceso evolutivo humano. Fenómeno de tan alto grado de éxito biológico que no en vano existen más de 7.000 lenguas habladas en todo el mundo. Teniendo lenguaje y lectura dos historias diferentes, tanto en su tiempo de aparición como en su origen biológico y significado, es hoy evidente que el lenguaje (base genética) ha sido, andando el tiempo, el que ha permitido la aparición de la lectura (base cultural). En este capítulo se

van a dar, fundamentalmente, unas pinceladas acerca del lenguaje, tanto de sus orígenes (A. Martin 1984) como de la aparición de las distintas estructuras cerebrales que son su base anatómica y funcional. Conocer esta secuencia de eventos en el tiempo, aun brevísimamente, permitirá adentrarnos mejor en el desarrollo de lo que conocemos sobre la propia lectura, motivo de este libro y, particularmente, del siguiente capítulo, «Desgranando la lectura en el cerebro».

El comienzo del lenguaje tiene detrás muchas narraciones, con orígenes tanto en la literatura y la fantasía como también con algunas trazas de verdadera historia. Algunos de estos relatos que se podrían contar se remontan a tiempos anteriores a la aparición evolutiva del propio hombre, y me refiero a los antropoides. Los antropólogos ya nos han contado que algunos chimpancés son cognitivamente muy capaces. De esas capacidades me gustaría, en dos de ellos, Washoe y Kanzi, destacar algunos aspectos de su conducta que, por su complejidad, son francamente difíciles de entender en un animal.

Los chimpancés no tienen la capacidad de hablar. No emiten sonidos que simbolicen y clasifiquen cosas u objetos, base del verdadero lenguaje y el conocimiento explícito. Y es que los chimpancés, por un lado, carecen en su cerebro de los circuitos neuronales base del lenguaje y, por otro, también carecen del aparato de fonación apropiado para vocalizar adecuadamente. Es cierto, sin embargo, que algunos investigadores han querido entrever algunos rudimentos anatómicos del lenguaje en el hemisferio izquierdo de la corteza cerebral del chimpancé, lo que ha conducido a la especulación acerca de si estos tienen alguna capacidad, aun muy rudimentaria y primitiva, para el mismo. No obstante, y como quiera que esto sea, lo que sí destaca en los chimpancés es su asombrosa capacidad de comunicación. Quizá la historia más interesante a este respecto es la del chimpancé Washoe, chimpancé común *(Pan troglodita*) que murió recientemente a los 42 años de edad. En 1966, el matrimonio Gadner comenzó un proyecto en Nevada, Estados Unidos, que consistió en comunicarse con este chimpancé hembra a través del lenguaje de los signos. Washoe comenzó este programa de enseñanza cuando tenía solo un año y fue, al menos durante los primeros años, cuidada por psicólogos y técnicos que le hablaban exclusivamente en

este lenguaje de signos. Además, el personal que la cuidaba procuraba siempre hablar entre ellos, en presencia del animal, con ese mismo lenguaje de signos. A la edad de cinco años Washoe ya había aprendido los signos correspondientes a más de ciento sesenta palabras: signos que incluían no solo objetos, plantas o animales, sino también colores y cambios y posibles alternativas como «mucho» o «poco». En cualquier caso, la pregunta que en su momento surgió fue esta: ¿constituyen esos signos que aprendió Washoe un verdadero lenguaje en el mismo sentido en que se habla del lenguaje humano? Contestar a esta pregunta generó en su momento mucha polémica. Lo que sí es claro es que, si por verdadero lenguaje entendemos combinar signos o sonidos (palabras) para, dependiendo de la combinación (con los mismos elementos de una frase, por ejemplo), generar significados diferentes (sintaxis) —ejemplo de lo que digo serían las frases «Pedro golpea a la pelota» versus «la pelota golpea a Pedro»—, por lo que sabemos no parece que Washoe llegara nunca a alcanzarlo propiamente.

La historia de Kanzi es todavía más impactante. Kanzi es, como Washoe, un chimpancé, pero de diferente subespecie. Kanzi es un bonobo *(Pan paniscus*). Y lo cierto es que es un bonobo famoso. Tanto, que sus logros cognitivos han impresionado al mundo, y de hecho son constatables en los muchos vídeos que se pueden descargar en internet. Solo hay que escribir su nombre en cualquier buscador, sin más matices, y comprobarlo. Lo cierto es que Kanzi posee cualidades excepcionales que van mucho más allá de las que acabamos de señalar sobre Washoe. Kanzi nació en 1980, así que ahora debe de tener 39 o 40 años. Desde muy pequeño mostró habilidades increíbles para el aprendizaje. De hecho, y con solo unos pocos años de edad, fue capaz de aprender a asociar objetos coloreados representados en cromos o estampitas pegados a un gran panel que luego utilizaba para comunicarse con sus cuidadores. En poco tiempo adquirió un vocabulario muy rico. Además, Kanzi demostró una enorme capacidad para construir instrumentos que luego utilizaba para realizar ciertas conductas. Kanzi demostró ser capaz de tallar piedras con filo (para lo cual necesitaba golpear piedras pequeñas con otra más grande) y luego utilizar alguna de estas pequeñas piedras talladas para, por ejemplo, cortar un cordel con el que se había atado una caja que contenía bananas. Pero lo más sorprendente

se refiere al lenguaje. Kanzi es capaz de combinar imágenes que representan palabras y con ellas componer frases rudimentarias que, al parecer, poseen sentido gramatical. Pero aun siendo esto sobresaliente, lo realmente extraordinario es su capacidad de entender el inglés hablado. Kanzi ha demostrado, con rotundidad, que es capaz de entender a una persona que le habla desde otra habitación, a través de los auriculares que tiene puestos. Así, cuando escucha la palabra «manzana», «conejo» o «muñeca», entre cientos de otras palabras de su repertorio, aprieta con un dedo el dibujo o fotografía correspondiente a esa palabra en el monitor que tiene delante de él. Y más allá: cuando se le dice «Kanzi, coge el salero y echa sal sobre la pelota», o «Kanzi, coge la lata de Coca-Cola y vierte un poco dentro de la jarra de agua», o, todavía más complejo, «Kanzi, coge el televisor y sácalo fuera de la habitación» o «coge la jeringa y pon una inyección al perro de peluche», Kanzi ejecuta con precisión estas demandas. No se sabe cuáles podrían ser sus talentos expresados en su medio natural, que sería la selva, pero sí parece claro que estas capacidades, en opinión de algunos primatólogos, acercan a los bonobos, de modo nunca imaginado antes, a la esencia del lenguaje humano.

Pero volvamos ahora la mirada hacia el ser humano y el origen del lenguaje desde la perspectiva, primero, de historias u observaciones realizadas en el hombre mismo y, después, de los datos obtenidos en los registros fósiles encontrados por la paleoneuroantropología. Muchas de esas historias arrancan de preguntas sin duda acordes con el escaso conocimiento científico de la época. Cuestiones como esta: ¿no fue el mismo Dios quien debió dar al primer hombre, Adán, el lenguaje con el que este, después, se comunicó con sus descendientes y del que, además, derivaron todas las demás lenguas del mundo? Algo así debió de pensar el filósofo inglés Thomas Hobbes (1588-1679) cuando, en respuesta a la idea de San Agustín (354-430) acerca del origen del primer lenguaje natural del hombre, escribió que «el primer autor del habla fue Dios mismo, quien instruyó a Adán sobre cómo nombrar a las criaturas». Y en cualquier caso, muchos curiosos seguirían preguntándose, Biblia en mano: ¿habló Dios a Moisés, o para el caso a Jesucristo, en arameo?

Dejémoslo aquí, porque son curiosidades a todas luces hoy un poco ingenuas para nosotros, aun cuando no lo fueran tanto para algunos reyes y filósofos que, a lo largo de la historia, se hicieron eco de estas mismas preguntas y trataron de realizar experimentos conducentes a contestarlas. Tal fue el caso, al parecer, del faraón Psamético (XXVI dinastía, 664-610 a. C.), quien, nos cuenta Heródoto (484-425 a. C.), trató de contestar esa pregunta acerca del lenguaje originario que Dios dio por primera vez al hombre. Para ello ordenó aislar a dos niños recién nacidos dejándolos al cuidado de personas que no les hablasen. El faraón esperaba así, cuando comenzasen los niños a hablar, conocer esa lengua divina. Pero por lo que sabemos por la literatura, los niños no hablaron y solo fueron capaces de pronunciar la palabra *bekos*, que al parecer significa 'pan'. Más tarde, diversos reyes, entre ellos el emperador Federico II de Hohenstaufen (1194-1250) y el rey Jaime IV de Escocia (1473-1513), aislaron a niños recién nacidos para comprobar tiempo después con qué idioma se expresaban y descubrieron que el silencio era la respuesta.

Con todo, quizás una de las historias más constatadas, hace ya también bastante tiempo, a principios del siglo XVIII (1708), fue la narrada por un jesuita, el padre Catrou (1659-1737), que en su libro *Historia general del Imperio mogol* (1715) cuenta que el emperador Yalaluddin Muhammad Akbar (Akbar Jar) (1542-1605), queriendo conocer, igualmente, el verdadero idioma original del hombre, aquel que el ser humano trae al mundo desde su nacimiento, y no el aprendido en su cultura, mandó aislar a doce niños recién nacidos junto con cuidadores sordomudos para tratar de comprobar en qué lengua se expresarían cuando comenzasen a hablar entre ellos. Transcurrido el tiempo, el emperador, junto a sabios conocedores de todas las lenguas habladas en el mundo, se aprestó a descubrir el lenguaje de los niños. Y fue entonces cuando descubrió que los niños no hablaban. Eran mudos. Solo se expresaban con sonidos guturales y gestos corporales (cara, brazos y resto del cuerpo).

Parece claro, pues, que el lenguaje, el habla propiamente, no es algo con lo que se nace. Ciertamente se nace con la potencialidad de hablar, es decir, con un cerebro que alberga los circuitos neurales para el lenguaje. Pero esos circuitos nunca van a funcionar a menos que se registre en ellos el habla de

nuestros semejantes. Se podría decir que nacemos con un disco cerebral en el que poder grabar, pero que estará vacío si no se graba nada en él. En otras palabras: el habla no es patrimonio de un hombre único aislado, sino un patrimonio social, un bien común de todos los seres humanos. Hoy avalan cuanto digo casos bien documentados de niños que vivieron aislados de sus padres o perdidos en la selva a temprana edad. Es el caso de un niño llamado Johan que vivó en un orfelinato en Burundi (República de Burundi), en el África Central, uno de cuyos límites es el lago Tanganika. Fue encontrado por unos pastores cerca de Rumonge, a orillas de ese lago, cuando solo tenía cuatro o cinco años. Se cree que fue abandonado en 1972, durante la guerra entre las tribus watusi y hudu. Al parecer, debió de sobrevivir de modo salvaje integrándose en una colonia de chimpancés y conviviendo con ellos. En el momento de su captura estaba completamente desnudo, era muy velludo y caminaba, como los chimpancés, utilizando brazos y piernas. Tras ser recogido por las monjas, y durante los cuatro años que vivió en el orfelinato, pese al intento de enseñarlo a hablar, no llegó nunca a pronunciar ni una sola palabra. Johan solo se comunicaba por medio de expresiones faciales y gesticulaciones corporales explosivas, como ya comentamos en el caso de los niños del emperador Akbar Jar. Hasta donde relata esta historia (cuando Johan cumplió ocho años) no había aprendido a hablar (Blakemore 1977).

Otro caso referido en la literatura fue el de John Saabunnya, un niño que nació en Uganda y que desapareció cuando apenas tenía cuatro o cinco años de edad. Es un caso bien estudiado y acerca del cual no parece existir duda. Por alguna razón se escapó a la jungla y allí sobrevivió gracias a la protección e integración que encontró en una colonia de monos cercopitecos. Varios años después, a un grupo de mujeres que cogía leña en un claro de la selva les llamó la atención que uno de los monos que merodeaba por allí corriendo, dando saltos y gritos como los demás no tenía mucho pelo en el cuerpo. Tras ser «cazado», se comprobó que era un ser humano, aun cuando fuese incapaz de andar erguido. Después fue ingresado en el orfelinato estatal de Kampala (Uganda), en donde mostró un comportamiento reservado, tímido y huidizo. No entendía la lengua en que se le hablaba. Tras años de aprendizaje sensorial, motor y social, John fue

mejorando en su conducta y llegó a aprender a hablar. En este caso, recordemos que John se perdió a una edad (cuatro o cinco años) en la que, supuestamente, ya debía de hablar su propia lengua. Por ello, y a pesar de sus años de aislamiento viviendo en la colonia de monos, al ser sometido a entrenamiento (con unos 8 años de edad), pudo aprender a hablar de nuevo por encontrarse aún dentro del período o ventana plástica de adquisición del lenguaje. Después, pasado algún tiempo, se quiso comprobar la veracidad de su historia y se llevó al niño a visitar a un grupo de monos de la misma especie que aquellos con los que convivió durante muchos años. La impresión de los científicos fue extraordinaria al comprobar que sabía comunicarse con ellos.

Finalmente, y también de modo breve, valdría la pena comentar el famoso caso de Genie, ampliamente descrito en la literatura. Genie fue una niña que al parecer vivió completamente aislada de todo contacto humano hasta los 13 años. Tras ser rescatada de su encierro, Genie no era capaz de tener expresión verbal alguna, de modo que se la sometió a un intenso programa de aprendizaje para que recuperase el habla. Tras dos años de fuerte entrenamiento, Genie solo logró expresarse verbalmente con monosílabos. Algo extraordinario en este caso, además, fue que estas nuevas facultades (expresarse solo con monosílabos) no las desarrolló en su cerebro izquierdo, en donde se localizan las áreas del lenguaje en la mayoría de las personas diestras, sino en su cerebro derecho. Supuestamente, los circuitos de su cerebro izquierdo habían cerrado su capacidad plástica para el lenguaje (Curtis 1974; Kuhl y Damasio 2013).

Lo que sí parece claro, a juzgar por lo que acabamos de describir en nuestros predecesores los chimpancés y también en seres humanos aislados de todo contacto humano, es que ahora podríamos recorrer más fácilmente el camino más largo, que no es otro que el que muestra que el lenguaje oral (articulado), el de las palabras, es consecuencia de un proceso evolutivo lento, millonario en años de construcción. Podemos decir que este proceso comenzó, propiamente, con el lenguaje emocional antes que con el de las palabras. Lenguaje, el primero, que, además, continúa «vivo», subsiste, y sigue siendo la base del verdadero funcionamiento del lenguaje de las

palabras en cualquier lengua hablada del mundo y más allá, y por supuesto, también, base de la propia lectura.

¿Qué es lenguaje emocional? ¿Cuándo ha aparecido propiamente el lenguaje oral? ¿Qué ha justificado, en términos evolutivos, ese largo proceso de casi dos millones de años que transcurre desde la aparición de los primeros esbozos del lenguaje hablado hasta llegar al lenguaje escrito? ¿Qué hace que un niño que a los pocos meses de nacer utiliza onomatopeyas y se comunica con los ojos, sonrisas y gestos pase a hablar en tan solo dos o tres años (sin que medie ninguna enseñanza explícita, excepto que haya oído hablar a sus padres) y pueda hacerlo de modo articulado y coherente? ¿Qué ha ocurrido en el cerebro desde el momento en que los seres humanos comenzaron a grabar los primeros palotes en arcilla que representaban, posiblemente, el número de sacos de grano que eran enviados en barcos a alguna geografía lejana, para leerlos y poder entenderlos tiempo después? ¿Qué diferencias hay entre el lenguaje oral y la lectura? Quizá sean muchas preguntas. Déjenme, no obstante, que trace un ligero recorrido alrededor de ellas, siquiera sea pintado a brocha gorda.

El lenguaje emocional es, sin duda alguna, el verdadero primer sistema de comunicación aparecido a lo largo del proceso evolutivo (ya lo hemos comentado a propósito de las historias previamente contadas de los precursores del hombre y del hombre mismo aislado desde el nacimiento). El hombre es un ser social, y sin la comunicación con sus congéneres no se hace a sí mismo. Las raíces más primigenias de esta comunicación se podrían encontrar, millones de años atrás (ya lo hemos señalado antes), en la emoción inconsciente. Esto último quiere decir que, en el contexto específico del lenguaje, el hombre tiene una larga historia grabada y almacenada en su genoma. Ya Charles Darwin (1809-1882) lo señaló en 1872 al indicar que las emociones constituyen un poderoso instrumento de comunicación en todas las especies animales, incluido el hombre. Es el lenguaje que utilizan tanto el cuerpo como los sonidos como vehículo de expresión. Es el medio para avisar y comunicarse de forma rápida, ruda y directa con el resto del grupo mediante vocalizaciones y gestos de la cara y posturas de tronco, brazos y manos. En el ser humano es el lenguaje que primero se desarrolla, y se expresa ya en la relación que se establece, por

ejemplo, entre madre e hijo. Lenguaje que, sin duda, es más fuerte y posee más significado para la supervivencia que el de las propias palabras. Lenguaje escueto y veloz. Todo esto y lo que sigue viene a recordar aquellas ideas originarias de Ernst Haeckel (1834-1919) acerca de la ontogenia como recopilación de la filogenia en el contexto del lenguaje, al ser en él la emoción lo primero que aparece tanto en el niño (ontogenia) como en el propio proceso evolutivo (filogenia).

En cualquier caso, la comunicación humana a través de la emoción, desde la ya mencionada de la madre con su hijo hasta la de más alto y abstracto significado, sigue desempeñando un papel esencial. De hecho, este lenguaje existe como sustrato o base del lenguaje oral, «noético», dado que es vehículo de este último, el de las palabras, en la medida en que lo facilita o lo obstaculiza. Si en una conversación hay un fuerte componente emocional negativo (agresivo), las palabras, la razón, sirven de muy poco como vehículo de comunicación. En tal situación, la persona que escucha no es capaz de descifrar el mensaje abstracto de las palabras que oye, ya que interpreta antes el contenido emocional de estas, que llevan implícito un mensaje de supervivencia (en este caso social), y reacciona ante él. Contrariamente, en una conversación con un fuerte componente de confianza y agrado en la que se intenta conseguir la atención y la comprensión del que escucha se potencia el significado simbólico de las palabras. Y en relación con lo dicho, y volviendo de nuevo a Charles Darwin, recordemos que escribió que «los movimientos expresivos dotan de viveza y energía a nuestras palabras y revelan los pensamientos y las intenciones de los demás mejor que las palabras mismas, porque estas pueden estar falseadas». El lenguaje emocional pobló prácticamente toda la comunicación viva del planeta hasta la aparición del lenguaje oral, que debió de nacer, según algunos estudios paleoneuroantropológicos, hace alrededor de unos dos millones de años. Ambos lenguajes, emocional y oral, vienen esculpidos en los genes.

Por su parte, el lenguaje oral representa un instrumento que no solo ha permitido la comunicación más precisa, conceptual, sino que ha conducido a la verdadera creación de un mundo nuevo a través de la comunicación simbólica y, con ello, a poseer la enorme potencialidad de permitir una

amplia y larga supervivencia social. Por su programación genética (sea esta resultado de una sola mutación genética, como se ha sostenido durante algún tiempo, o de mutaciones genéticas graduales, como se admite actualmente), y como ya he indicado, el lenguaje oral no necesita un aprendizaje explícito. Solo es necesario que el niño viva en un entorno en el que escuche que se habla, como también acabamos de comprobar en las historias contadas al principio de este capítulo. Es más, un feto ya es capaz en el útero materno de responder de forma diferente a las entonaciones de la voz de la madre, distinguir su prosodia (tonos, pronunciación y contenido emocional) de la de otras voces femeninas y también reconocer características propias de la lengua materna frente a las de otras lenguas.

El recién nacido es capaz, muy pronto, de reaccionar ante determinados fonemas de un modo diferente a como lo hace ante otros sonidos de la naturaleza. A los seis meses el niño ya puede distinguir las vocales, y poco después es capaz de diferenciarlas de las consonantes. Algunos estudios han sugerido que alrededor del primer año ya se comienzan a cerrar las ventanas plásticas con la que los niños vienen universalmente equipados para adquirir cualquier lengua a la que hayan sido expuestos desde el nacimiento, que comúnmente es la de los padres. Es decir, que durante ese primer año el niño ya transforma la arquitectura cerebral que le lleva a dirigir sus mecanismos atencionales preferentes, y de pronunciación dominante, hacia esa lengua y no otra. Curiosamente, esta ventana plástica puede permanecer abierta durante más tiempo (meses) en aquellos niños que escuchan durante ese primer año hablar dos lenguas al mismo tiempo. Y curiosamente también, y en este contexto de un ambiente bilingüe, aunque el niño aprende simultáneamente ambas lenguas, al parecer aprende a distinguir, con matices emocionales especiales, la lengua de la madre. Lo cierto es que, al año, muchos niños entienden un número de palabras que podría estimarse en alrededor de 30 o 50. En torno a los tres años los niños ya conocen unas 1.000 palabras. A los seis, el niño ha aprendido el significado de más de 6.000 palabras, y a partir de ahí progresa, de modo acelerado, hasta alcanzar el vocabulario medio de una persona adulta, que oscila alrededor de las 70.000 palabras.

El lenguaje oral es la capacidad de emitir sonidos (palabras —que son producto de un acto motor, contracción muscular—) asociados a un significado (semántica) de un amplio vocabulario o léxico. La unión de palabras en frases largas es otro eslabón del lenguaje en el que, además de su contenido semántico (significado), se produce una ligazón entre ellas acorde con unas reglas (sintaxis), con lo que se puede lograr un nuevo sentido y significado en el lenguaje. El significado de una frase (la sintaxis) es independiente, por tanto, del significado de las palabras aisladas (ya lo hemos visto a propósito del lenguaje de los antropoides en este mismo capítulo). Efectivamente, los antropoides (chimpancés *Pan troglodita* —común— o *Pan paniscus* —bonobo— y orangutanes) pueden comunicarse con los seres humanos a través de símbolos (letras) que, previamente, han sido asociados por ejemplo a una banana, una pera o una manzana. O construir, con símbolos, una frase elemental (banana amarilla o manzana roja), pero, al margen de algunos ejemplos de aceptación controvertida como es el caso de Kanzi, no parece que puedan construir o entender frases (hileras de símbolos) con reglas sintácticas que permitan extraer significados diferentes de los de los propios símbolos individualizados que utilizan. Esto hace que las reglas gramaticales o sintácticas marquen en lo lingüístico la línea roja que diferencia lo humano y lo no humano. Fue Noam Chomsky (1928), precisamente, quien propuso que el ser humano posee al nacer por su dotación genética, y por tanto de modo innato, la capacidad de desarrollar la sintaxis o la gramática, es decir, las reglas que gobiernan y son la esencia de la estructura del verdadero lenguaje, cosa que, como acabamos de señalar, no parece poseer ningún antropoide.

El lenguaje articulado más rudimentario en cualquier forma y condición, a juzgar por los registros fósiles dejados por nuestros antecesores los homínidos, debió de aparecer ya en el *Homo habilis* hace unos dos millones de años. Efectivamente, las dos áreas principales del lenguaje, localizadas en la corteza cerebral del hemisferio izquierdo (áreas de Broca y de Wernicke), son claramente reconocibles en el cráneo de este homínido. Concretamente en el cráneo de un espécimen de *Homo habilis*, el clasificado como KNM-ER 1470, es donde con gran claridad se ha podido demostrar la existencia de unos «abultamientos» que se corresponderían

con las dos áreas principales, ya mencionadas, del lenguaje en la corteza cerebral. Así lo describió el paleontólogo Phillip Tobias (1925-2012): «En el *Homo habilis* las impresiones que el lóbulo frontal dejó sobre la parte interior de los cráneos fósiles analizados muestran, claramente, una prominencia muy marcada que se corresponde con la posición del área de Broca. Aspecto que no se puede reconocer en los cráneos del *Australopithecus africanus* (predecesor del género *Homo)*. Pero también en el *Homo habilis* se pueden reconocer las huellas que dejaron los giros supramarginal y angular, que forman parte del territorio de Wernicke o área posterior del lenguaje» (Tobias 1977). Estas observaciones son cruciales para sostener la hipótesis del nacimiento del lenguaje hace entre dos y tres millones de años, muy poco después de que comenzaran a aparecer los primeros utensilios de piedra. Todo esto nos conduce a suponer que el *Homo habilis*, en el que los paleoantropólogos hallan características culturales claras, debió ya de emitir sonidos de comunicación con rudimentos lingüísticos. Escribe de nuevo Tobias: «Por tanto, un nuevo conjunto de sonidos, aquellos del habla articulada, debieron de ser oídos en África hace unos dos millones de años, y, con ello, un nuevo nivel de organización comenzó en la evolución de la vida sobre la tierra» (Tobias 1977*)*. En cualquier caso, sería sin duda en el *Homo sapiens sapiens*, aparecido hace unos 150.000 años, en el que, propiamente, comenzaría a florecer el lenguaje (simbólico) que ya, poco después, se expandiría con la socialización «larga» de los seres humanos, es decir, tras la etapa de cazadores y recolectores y el nacimiento de la agricultura y el pastoreo.

Pero ¿qué sabemos hoy del lenguaje en relación con los sustratos neuronales del cerebro? Déjenme que les dé una muy breve perspectiva. La localización de los circuitos cerebrales para el habla está, en un porcentaje que en las personas diestras ronda en torno al 90%, en el hemisferio cerebral izquierdo. El resto tienen estos mismos circuitos localizados en el hemisferio cerebral derecho. En personas diestras —que, como hemos dicho, tienen sus áreas del lenguaje en el cerebro izquierdo—, daños tempranos (primeros años de vida) en ese hemisferio pueden dar lugar al desarrollo del lenguaje en el hemisferio cerebral derecho. Esto respalda, claramente, la plasticidad cerebral para el lenguaje en estos primeros años

del niño, como ya comentamos páginas atrás a propósito del caso de Genie. Es posible que, en los primeros años de vida, exista la misma potencialidad para el lenguaje en ambos hemisferios. En cualquier caso, sí parece que alrededor de los cinco años, y en relación con el progreso del lenguaje, este se lateraliza completamente al hemisferio cerebral izquierdo en las personas diestras (Fimura 1967).

El análisis del lenguaje en relación con su localización en el cerebro es toda una historia de más de un siglo de estudios, hallazgos y vicisitudes protagonizados por neurocirujanos, neurólogos, neuropsicólogos, psicólogos y psiquiatras en pacientes con lesiones cerebrales. Hoy, a medida que los estudios cognitivos y neuropsicológicos han ido avanzando, gracias a la utilización de potentes instrumentos como la resonancia magnética nuclear y la magnetoencefalografía, ya se conoce parte importante de los componentes que intervienen en la generación del lenguaje, sea oral o escrito, gestual o de signos, lo que incluye múltiples áreas del cerebro, sensoriales, motoras y de asociación. Alrededor del año 1861 el cirujano francés Paul Broca (1824-1880) mostró los resultados de la autopsia de un paciente con una lesión cerebral en el lóbulo frontal izquierdo. Esta lesión se encontraba alrededor del área 44 de Brodmann (Mora y Sanguinetti 2004). Se trataba de un paciente con una incapacidad completa para articular las palabras (para hablar); es decir, sufría de una afasia motora. A lo largo del tiempo se detectaron lesiones similares en otros muchos casos de pacientes con trastornos del habla. Efectivamente, estos pacientes mostraron una gran variedad de síntomas, desde expresarse solo con monosílabos hasta hablar con sonidos sin aparente significado, pero siempre con una incapacidad para la articulación de la palabra propiamente.

Por su parte, en 1874 Carl Wernicke (1848-1905) expuso el caso de pacientes con dificultad para entender el lenguaje, tanto hablado como escrito, que, curiosamente, presentaban una menor afectación en el habla misma. Pacientes a los que se les diagnosticó que sufrían una «afasia sensorial». Las lesiones cerebrales en estos últimos casos se localizaron en la parte más posterior del cerebro izquierdo, temporal y parietal (AB22, AB39 y AB40) (Mora y Sanguinetti 2004). Tiempo después, el

neurocirujano estadounidense Wilder Penfield (1891-1976) y su equipo estudiaron los efectos de estímulos eléctricos realizados directamente en el cerebro de pacientes despiertos que sufrían diferentes patologías cerebrales. Las áreas del cerebro estimuladas fueron tanto áreas motoras (AB4 y AB6) como propiamente los territorios de Broca (AB44, AB45 y AB47) y de Wernicke (AB22, AB39 y AB40), involucrados en la producción del habla. A estos pacientes, ya en la mesa de operaciones, y con los electrodos de estimulación localizados en las áreas que acabo de mencionar (antes de ser intervenidos quirúrgicamente), se les pidió que contaran o leyeran una historia o una secuencia ininterrumpida de números. Mientras lo hacían, y durante un corto período de tiempo, se les aplicó un estímulo eléctrico a muy baja intensidad. Los efectos fueron que, durante el lapso de tiempo que duró el estímulo, los pacientes o bien interrumpieron el habla (la lectura, el relato o la secuencia de números), o bien la mantuvieron pero de una forma incomprensible. Tras suprimir el estímulo, el paciente, sin interrupción en el tiempo, continuó con su tarea, pero hablando o leyendo, esta vez, correctamente. Otros tantos estímulos en otras áreas diferentes de la corteza cerebral no tuvieron tales efectos sobre el habla. Los estudios de Penfield demostraron claramente por primera vez, y de modo directo en pacientes *in vivo* y despiertos, la participación de estas estructuras cerebrales en el habla y en la propia lectura.

A partir de estas observaciones se gestó la hipótesis más elemental de las bases neuronales del lenguaje. El lenguaje hablado (el que se escucha) sería interpretado tras recibir la información procedente de las áreas auditivas (AB41 y AB42) (lenguaje oral) en las áreas de Brodmann AB22, AB39 y AB40 (también conocido como territorio de Wernicke). Tras ello, y a través de una banda de fibras nerviosas (fascículo arcuato) cuyo papel funcional tanto en el habla como en la lectura está hoy ya claramente demostrado, la información pasaría a las áreas AB44, AB45 y AB47 (también llamado territorio de Broca), en las que esta información se transformaría en códigos con los que se articulan las palabras. Finalmente, esta última información sería enviada a las áreas motoras de la corteza frontal (AB6 y AB4), en donde sería transformada en programas motores responsables de activar los músculos fonadores del lenguaje (Geschwind 1970).

Hoy, sobre la base de nuevas observaciones obtenidas gracias a las nuevas técnicas de registro de la actividad cerebral que acabo de mencionar, este modelo ha sido revisado en profundidad. Efectivamente, se ha llegado a la conclusión, primero, de que entre los territorios de Wernicke y de Broca la información no es unidireccional (Wernicke → Broca), sino bidireccional (Wernicke → Broca → Wernicke), y circula de modo constante. Y segundo, que también existe una comunicación constante, asimismo bidireccional, entre estas áreas principales del lenguaje, Wernicke-Broca-Wernicke, y muchas otras áreas del cerebro, en particular las áreas de asociación de la corteza cerebral. Hoy ya se conocen amplias zonas que se localizan no solo en las regiones de la corteza cerebral de asociación (frontales, temporales y parietales) del hemisferio cerebral izquierdo, sino también en la corteza cingulada, la corteza de la ínsula, los ganglios basales y el propio cerebelo. Es más, de modo más reciente todo este amplio mapa cerebral del lenguaje ha quedado sintetizado en la existencia de tres sistemas neurales (Kuhl y Damasio 2013). Estos son: el «sistema de implementación del lenguaje» (territorios de Wernicke y de Broca, ínsula y ganglios basales, que, ampliamente, participan en la semántica, la fonética y la construcción gramatical del lenguaje) y los sistemas «mediacional» y «conceptual» (las numerosas áreas de asociación de la corteza cerebral ya mencionadas), complementarios de las funciones del sistema de implementación.

Frente a todo este largo camino evolutivo del lenguaje articulado, la escritura y la lectura son procesos de nacimiento muy reciente. La lectura no nace en el genoma, ya lo hemos señalado, sino que toma ventaja de estas mismas vías neuronales del lenguaje y, a través de los mecanismos plásticos del cerebro, crea caminos neuronales complementarios a partir de la visión. La lectura es un proceso claramente artificial en el mundo biológico. De hecho, el ser humano puede sobrevivir, lo sabemos todos, sin saber leer ni escribir, como claramente nos ha mostrado la historia evolutiva del *Homo sapiens* y la propia historia cultural del hombre, todavía bastante reciente. Desde el nacimiento de nuestra especie, con una configuración del cerebro casi idéntica a la del hombre actual, y hasta muy recientemente, el *Homo sapiens* ha sido analfabeto. Y aún hoy, según estudios de la UNESCO, hay en el mundo más de mil millones de seres humanos que no saben leer.

Vale la pena repetir que la lectura es posible gracias, fundamentalmente, a presiones culturales selectivas que han aprovechado la existencia previa de los sustratos neuronales del lenguaje. De hecho, las áreas cerebrales que son núcleo, base, del lenguaje son compartidas con las de la lectura, destacando en ellas los territorios de Wernicke y de Broca y esa banda de fibras amplia y compleja que las conecta (fascículo arcuato). Ya hemos apuntado que, en la mayoría de las personas (diestras), la función de las áreas cerebrales sustrato del lenguaje y la lectura se localiza en el hemisferio cerebral izquierdo. Pero que también el hemisferio cerebral derecho desempeña un papel importante, tanto en el propio lenguaje como en la escritura, y este es el que se refiere fundamentalmente a la prosodia (los tonos, acentos, pausas, silencios y la modulación de la expresión hablada). Y para ambos, lenguaje y lectura, ocurre en la misma medida que, aun cuando es mayoritario el porcentaje de seres humanos que tienen localizadas sus áreas cerebrales en el hemisferio izquierdo, hay personas en las que la función de esas mismas áreas se sitúa en el hemisferio derecho o en ambos hemisferios a la vez. Es más, hay personas en las que no ha sido posible localizar estas áreas del lenguaje en ninguna parte de su cerebro. Personas que, sin embargo, hablan y leen de una forma normal y fluida.

4
DESGRANANDO LA LECTURA EN EL CEREBRO

En este capítulo se describen las tres regiones o áreas del cerebro cuya actividad constituye el sustrato neuronal principal de la lectura. Estas son: 1) sistema ventral, 2) sistema dorsal (territorio de Wernicke) y 3) sistema anterior (territorio de Broca), todas ellas localizadas, en la mayoría de las personas que saben leer, en el hemisferio cerebral izquierdo. 1) En el sistema ventral hay que destacar la ubicación de la VWFA (área visual de formación de palabras), área considerada principal en la construcción de las palabras a partir del análisis de las letras, que se van formando desde las áreas visuales de la corteza occipital. Es en estas áreas visuales donde una palabra leída es analizada letra a letra, cada una y separadamente, para reconstruir después la propia palabra en la VWFA, en donde se forman la palabra y su ortografía. 2) El sistema dorsal (territorio de Wernicke) procesa el grafema en fonema. Es donde las palabras adquieren su componente fonológico, es decir, el sonido o resonancia mental de la palabra. Estas redes neuronales del territorio de Wernicke también participan en la elaboración del significado conceptual de la palabra (semántica). 3) Por su parte, el sistema anterior (territorio de Broca), en interconexión anatómica y funcional con el sistema dorsal, promueve por un lado la transformación sensoriomotora de las palabras, que serían ahora enviadas a las áreas motoras de la corteza frontal, en donde se construyen los programas motores que luego son remitidos, a su vez, a las cuerdas vocales (lenguaje articulado) o a los músculos de las manos y los dedos (escritura). Este territorio de Broca también tiene un papel destacado en el procesamiento sintáctico de una frase. En este sistema anterior, el área 47 de Brodmann (giro frontal inferior) participa en el procesamiento del significado de las palabras (semántica) y en la elaboración del léxico (vocabulario); e incluso, también, en el propio procesamiento fonológico de las palabras. Tras hacer algunas consideraciones introductorias al «color emocional» de las palabras al pasar por el sistema límbico, finalmente, en este capítulo se resaltan algunas diferencias concretas que se podrían entresacar (desde la perspectiva neurobiológica) al comparar el lenguaje oral (el habla) y la lectura.

Voy ahora a describir un cuadro que, aun cuando sin duda resulte sinóptico y fragmentario, sigue y complementa al capítulo anterior, englobando y destacando las principales áreas cerebrales que son el corazón del procesamiento de la lectura. Este capítulo debe considerarse, por tanto, un capítulo introductorio que permitirá entender mejor los capítulos que siguen a continuación. En apretada síntesis se podría adelantar que este cuadro (figura 3) lo componen tres regiones cerebrales relativamente alejadas entre sí que ya se encuentran presentes en el cerebro en el momento del

nacimiento y de las cuales las dos principales (territorio de Broca y territorio de Wernicke) están particularmente desarrolladas en la infancia, dado que son las mismas regiones anatómicas sustrato del lenguaje oral. Estas tres áreas se centran en los llamados (1) sistema ventral, (2) sistema dorsal (territorio de Wernicke) y (3) sistema anterior (territorio de Broca). Las tres se localizan principalmente en la parte dorsolateral del hemisferio cerebral izquierdo. Antes de proseguir, es importante señalar que en el cerebro de un niño que no ha aprendido todavía a leer, o en el de un adulto iletrado, existe un equilibrio «funcional» de estas áreas en ambos hemisferios cerebrales, derecho e izquierdo. Pero, sin embargo, tan pronto como comienza el aprendizaje de la lectura (lo veremos algo más en detalle en el capítulo 11, «Aprendiendo a leer»), y en la mayoría de las personas, se produce una lateralización hemisférica de estas funciones. Y así, del mismo modo que ocurre para el lenguaje, se produce un aumento de su actividad (anatomía y función) en el hemisferio izquierdo y un descenso en el hemisferio derecho.

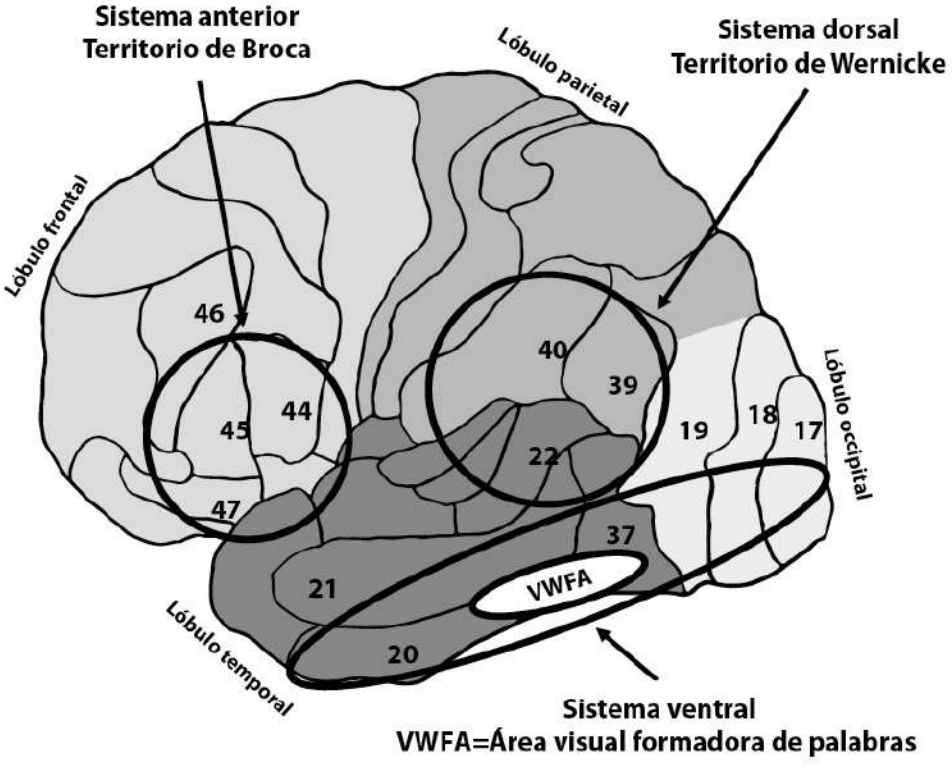

FIGURA 3. Áreas principales de la lectura englobadas en los sistemas ventral, dorsal y anterior del hemisferio cerebral izquierdo. Sistema ventral: área visual primaria AB17; áreas visuales secundarias AB18 y AB19; giro fusiforme AB37; corteza temporal inferior AB20. Sistema dorsal (territorio de Wernicke): giro angular (AB39); giro supramarginal (AB40); área de Wernicke (AB22). Sistema anterior (territorio de Broca): pars opercularis (AB44); pars triangularis (AB45); cincunvolución frontal inferior (AB47).

Pasemos a describir brevemente estos tres sistemas, representados en la figura 3:

1. El sistema ventral se ubica en las cortezas cerebrales de los lóbulos occipital (áreas visuales AB17, AB18 y AB19) y temporal (AB37 y AB20). En el lóbulo temporal es relevante destacar, especialmente, la localización del giro fusiforme (AB37), y en él, y a su alrededor, y sin delimitación anatómica precisa, la VWFA (área visual de formación de palabras). Muchas neuronas de esta VWFA, en personas que saben leer, responden mejor a la visión de una palabra que a cualquier otro tipo de estímulo visual. Precisamente, la VWFA es un área considerada principal y primaria a la hora de construir y procesar las palabras, es decir, un área en donde se realiza el análisis de las letras (una a una), que se construyen, previamente, en las áreas visuales del lóbulo occipital (AB17, AB18 y AB19) ya mencionadas. Aun cuando en los capítulos que siguen la VWFA será analizada y comentada más detenidamente, pienso que sería pertinente, para entender mejor estos primeros pasos del análisis y la síntesis de las palabras, adelantar algunas consideraciones. Por ejemplo, esta VWFA es considerada un *hub* (centro o sistema receptor y distribuidor de una actividad específica) desde el que se distribuye información a otras muchas redes neuronales del cerebro, particularmente a aquellas en las que la información relacionada con la construcción de las palabras prosigue su procesamiento con la adquisición de significados (tanto emocionales como semánticos). Se trataría de una estación preléxica, es decir, una fase durante la cual se «fabrican» las palabras, previa, por tanto, a la incorporación de estas al vocabulario (léxico) y a la adquisición de significados (semántica). En resumen, es un área central en donde, tras la construcción de las palabras, estas pasan a ser procesadas principalmente por los sistemas dorsal (territorio de Wernicke) y anterior (territorio de Broca) (haciendo

aquí omisión, para facilitar la comprensión global de los tres sistemas principales, del paso intermedio a través del sistema límbico —amígdala—, que veremos más adelante).

2. El sistema dorsal (territorio de Wernicke) está funcionalmente constituido por dos áreas anatómicas diferentes localizadas en los lóbulos parietal y temporal. Por un lado, la parte cortical más inferior del lóbulo parietal y, en ella, el giro angular (AB39) y el giro supramarginal (AB40). Por otro, la parte del lóbulo temporal (corteza temporal superior más posterior) en donde se encuentra el área 22 de Brodmann, o área de asociación auditiva o «área propiamente de Wernicke» (AB22) (que no debe confundirse con «territorio de Wernicke», que se refiere al conjunto de las tres áreas de Brodmann: AB39, AB40 y AB22). Es en este territorio neuronal donde la palabra leída y su ortografía (palabras correctas construidas en la VWFA) y sus componentes, las letras (grafemas), adquieren sensorialidad auditiva, esto es, «sonidos mentales» o «resonancias mentales» (fonemas). Todo el mundo sabe que cuando se lee, y sobre todo cuando se saborea despacio lo que se lee, o en el caso de un texto difícil o de alto significado para el lector, se produce, paralelamente, una repetición «sonora» en nuestra mente de las palabras leídas. Esta es, curiosamente, una de las pocas regiones cerebrales que, en cualquier persona, se activa tanto al escuchar una palabra hablada (oída y, por tanto, involucrando solo al sistema auditivo, áreas AB41 y AB42 —figura 1—) como si se trata de una palabra escrita (solo leída y por tanto involucrando principalmente solo al sistema visual). De ahí que se diga que es un área en la que se produce la «decodificación grafema-fonema». Es justo en este sistema dorsal en donde, en los niños que padecen el síndrome de «dislexia común», se detecta una actividad reducida cuando leen un texto (véase capítulo 13, «¿Qué ocurre en el cerebro de los niños que no leen bien?»). Precisamente estos cambios de actividad neuronal reducida en el sistema dorsal han venido considerándose detectores capaces de señalar y justificar neurológicamente los problemas de base de este tipo de dislexia.

El sistema dorsal, además, no solo alberga redes neuronales que participan en la conversión de los aspectos visuales de las palabras y su

ortografía en sus formas fonológicas, como acabamos de señalar, sino que también participa en la elaboración del significado conceptual de las palabras (semántica). Además, se ha sugerido que en aquellas personas que leen de forma muy fluida las redes neuronales en o alrededor del giro angular (AB39) parecen tener una participación más selectiva en esta traducción semántica de las palabras. También se ha apuntado que estas estructuras o núcleos, sus circuitos neuronales, podrían desempeñar un papel relevante en el aprendizaje de nuevas palabras, particularmente en su procesamiento fonológico. Y de ahí su especial relevancia en el aprendizaje de la lectura en los niños. Y de ahí, también, que resulte trascendente conocer el proceso de maduración neuronal de estas áreas que componen el territorio de Wernicke durante el desarrollo de los niños (organización sináptico-neuronal definitiva y mielinización de los axones de las neuronas) y su relación con la edad más apropiada en la que estos deberían comenzar a aprender a leer de una forma reglada (capítulo 10, «Aprendiendo a leer»).

3. Por su parte, el sistema anterior (territorio de Broca), localizado en el lóbulo frontal, hace referencia principalmente a las llamadas áreas de Broca, *pars opercularis* (AB44) y *pars triangularis* (AB45), que, junto con la corteza o circunvalación frontal inferior (AB47), constituyen lo que también se conoce como «territorio de Broca». Las redes neuronales de este territorio de Broca tienen un papel importante en el procesamiento sintáctico, gramatical o propiamente de construcción del lenguaje. También estas redes neuronales contribuyen a elaborar parte de la transformación sensoriomotora a partir de la información sensorial (auditiva) que se elabora en el territorio de Wernicke. Programas que, en el caso del lenguaje y la escritura, son posteriormente enviados a la corteza premotora (AB6) y a la corteza motora (AB4), en donde propia y ordenadamente se constituyen los programas motores que son enviados a las cuerdas vocales (lenguaje articulado) o, eventualmente, a los músculos de las manos y dedos (escritura). Por su parte, el área AB47 participa en toda una serie compleja de funciones. De hecho, es un sistema multifuncional que procesa distintos tipos de información en la lectura. Información que incluye la elaboración del léxico (vocabulario), el procesamiento semántico de las palabras y,

también, el proceso fonológico de las mismas. Es más, también se considera que la actividad neuronal de los circuitos de esta área cerebral conforma una especie de índice o marcador importante del progreso de la lectura durante su aprendizaje en los niños. Y es que, en varios estudios, se ha podido comprobar que su actividad aumenta de forma paralela a los progresos en la adquisición y riqueza del vocabulario (léxico y semántica). Como síntesis, se podría especular que el sistema anterior (territorio de Broca) opera funcionalmente de modo muy estrecho con el sistema dorsal (territorio de Wernicke), pues, aun cuando cada uno tiene sus propiedades, es más que evidente que también se pueden detectar en ambos funciones como la semántica y la fonología. De hecho, apuntémoslo una vez más, estos dos territorios (Wernicke y Broca) del cerebro están en comunicación bidireccional constante a través de la banda compleja de fibras que constituye el fascículo arcuato.

Valdría la pena resaltar aquí, a modo introductorio, como he señalado al principio de este capítulo y veremos más concretamente en el capítulo 9 («La emoción de las palabras»), el importante papel que también juega el sistema límbico (cerebro emocional) en el contexto del propio funcionamiento de los sistemas dorsal y anterior (véase figura 2). Y lo primero sería señalar que la emoción es lo que hace que toda la maquinaria neuronal antes descrita, sustrato de la lectura, funcione adecuadamente. Esto último tiene su fundamento en el hecho de que el procesamiento de las palabras, tanto en la lectura (ortografía, fonología, léxico, semántica) como en el propio lenguaje oral, ya se realiza en las redes neuronales de estas estructuras con información «emocional inconsciente» procedente de las memorias previas grabadas en ese cerebro emocional. Efectivamente, desde la VWFA, y una vez ya formadas las palabras y su ortografía (conformación correcta de la palabra), estas pasan al cerebro emocional a través de esa puerta de entrada que es la amígdala, y es posteriormente cuando ya esas palabras «teñidas» de significado emocional inconsciente pasan a ser procesadas por los sistemas dorsal y anterior (y en este último, y más específicamente, por la AB47) (figura 2). De este modo las palabras, antes de su procesamiento semántico (significado conceptual) y prosódico (tonos en el caso de un texto), ya vienen «impregnadas» de emoción inconsciente.

Y ello ocurre desde el momento mismo en que el niño comienza el aprendizaje de la lectura y maneja las palabras, o en que un lector abre un libro nuevo movido por la curiosidad, y con ella la atención, y esta última le incita a proseguir o no con la lectura. Las palabras, así, siguen un proceso que hasta el sistema límbico es similar al que opera en el cerebro cuando miramos un objeto sensorial cualquiera (sea una botella o un árbol) (Mora 2008, 2017).

De todo esto se colige que, en el caso del aprendizaje de la lectura, es muy claro que a un niño no le interesa para nada, o desde luego le interesa muy poco, conocer qué es una letra o cómo suena. Estos grafemas no son palabras y, por tanto, carecen de cualquier tinte emocional. Solo cuando las letras se unen formando primero sílabas y luego palabras cobran interés, y es entonces cuando el niño abre los ojos durante ese aprendizaje. Sin duda, no solo por el significado inconsciente de la emoción que ya hemos descrito, que le evoca «placer o recompensa» cuando lee «él mismo», sino también por el refuerzo positivo que añade el maestro. Y aunque con contenidos y matices claramente diferentes, este es el mismo proceso que se sigue en el caso de que sea un adulto el que comienza el aprendizaje de la lectura.

Es quizás en las lenguas con alfabeto (el español o el inglés, por ejemplo) en las que ha sido más fácil trazar los vericuetos cerebrales por los que corretean (tiempos) las letras y las palabras y todo ese mundo rico de significados que ofrece un libro. Precisamente aprovechando esto último más adelante revisaremos, desde una perspectiva complementaria, lo que sucede en el cerebro de una persona (niño, adulto o viejo) que sabe leer, y que se encuentra con curiosidad y nivel emocional suficientes, desde el momento en que reconoce una letra (esté escrita en la pantalla de un ordenador o en la página de un libro) hasta que construye las sílabas y con ellas las palabras y su significado (tanto emocional como conceptual) en un texto.

Surge una pregunta final que puede ser relevante para el lector en el contexto de este capítulo introductorio: ¿qué diferencias concretas podemos encontrar al comparar el lenguaje oral y la lectura? Algunas serían estas:

1) El lenguaje tiene una larga historia evolutiva de casi 2 millones de años, está genéticamente programado y no requiere una enseñanza trabajosa explícita para comprenderlo y hablarlo.

2) La lectura, en cambio, es un «invento» cultural muy reciente que debe ser enseñado de modo explícito, consciente, y a partir de cierta edad, cuando el niño ya muestra fluidez en el habla.

3) El lenguaje oral depende, casi exclusivamente, de los mecanismos sensoriales de la audición, en tanto que la lectura depende de la visión y la audición y, en su caso (personas ciegas), del tacto.

4) El lenguaje requiere de los mecanismos neuronales capaces de organizar programas motores que lleven a expresar en el habla (acto motor: contracción coordinada de los músculos de la laringe —cuerdas vocales—, lengua y boca) los pensamientos o sentimientos que responden a lo oído o pensado. En contraste, la lectura es un proceso mental, no dependiente de la actividad motora (cuerdas vocales), aun cuando existe una actividad de las áreas motoras (corteza frontal) relacionada con los «sonidos mentales» que acompañan a la lectura y la escritura y dependiente, posiblemente en mayor medida, de un procesamiento cognitivo (fonológico).

5) Aun cuando los territorios neuronales que son base tanto del lenguaje oral como de la lectura (territorios de Wernicke y de Broca) son comunes, la ontogenia de ambas funciones es diferente. En el caso del lenguaje, están en una buena disposición funcional a los tres o cuatro años de edad, mientras que para la lectura lo están más tarde, a partir de los seis o siete años.

6) Estudios muy recientes sobre la comprensión de la lectura fluida indican que apenas existen diferencias en la actividad funcional de los circuitos neuronales del lenguaje oral y la lectura cuando se lee o escucha (significado) una sola palabra. Sin embargo, hay diferencias cuantitativas en la actividad de esos mismos circuitos cuando se escucha o lee un texto largo.

5

PLASTICIDAD CEREBRAL:

Caras luchando con palabras

La plasticidad cerebral (del griego clásico *plastikós*, ‘cambio’, ‘modelado’) alude a los cambios que se producen en las neuronas que, dirigidas por sus genes, responden a la adaptación de los individuos al medio ambiente en que viven. Estos cambios son, de hecho, producidos por la memoria y el aprendizaje que cada persona realiza. De modo que las neuronas responden transformando la bioquímica y la anatomía de sus sinapsis (neurotransmisores, receptores neuronales, dendritas y nuevas sinapsis) y su fisiología (función), a resultas de lo cual cambia también la función de las redes neuronales de las que estas neuronas forman parte. En particular, este capítulo está principalmente dedicado a la especificidad de los cambios que ocurren en dos áreas del cerebro, la VWFA (área visual de formación de palabras) y el territorio de Wernicke (conversión de grafema a fonema), en el hemisferio cerebral izquierdo. Los cambios plásticos de la VWFA implican modificaciones en sus redes neuronales producidas durante el aprendizaje de la lectura y en las que parte de su sustrato neuronal modifica su función, es decir, se pasa de procesar formas de objetos o seres vivos a procesar y construir palabras. También se exponen en este capítulo los cambios plásticos del territorio de Wernicke, en donde con el aprendizaje de la lectura se produce un aumento de su número de sinapsis. En este territorio de Wernicke la plasticidad también tiene una relevancia especial, por cuanto sus neuronas y circuitos cambian como resultado de tratamientos psicológicos con los que se mejoran e incluso revierten los síntomas de la dislexia más común en los niños (problema fonológico).

Las unidades básicas del funcionamiento del cerebro, las neuronas, son células altamente plásticas. Esto quiere decir que son modificables con respecto a los eventos que ocurren en el medio ambiente que rodea al individuo. Como consecuencia, ajustan su morfología y función a los cambios que, producidos fundamentalmente por el aprendizaje y la memoria, adaptan a los individuos al medio en que viven y a las necesidades que crean. En esencia, el concepto de plasticidad cerebral se centra en esa capacidad de los genes de las propias neuronas de responder a ese proceso de aprendizaje y memorización cambiando su bioquímica, su anatomía (neurotransmisores, receptores neuronales y árboles dendríticos) y su fisiología (función), a resultas de lo cual también se modifican las redes o circuitos neuronales de los que forman parte. Esta plasticidad se expande

y expresa especialmente, y de modo muy claro, en el contexto de las memorias (explícitas) en una estructura, el hipocampo, en donde, además, se produce el fenómeno de la neurogénesis (generación de nuevas neuronas) (Mora 2020). Estas capacidades plásticas, de cambio, del cerebro (anatómico y fisiológico) se manifiestan, además, tanto con un aumento de las dendritas de las neuronas como con una disminución de estas, dependiendo de las características de la interacción del individuo con el medio físico o social que lo rodea.

Estos cambios plásticos de las neuronas no se producen en todo el cerebro de una forma homogénea, sino que son claramente dependientes de los estímulos que los promueven y que, lógicamente, son decodificados en las áreas y redes neuronales específicas que procesan dichos estímulos, bien sea en el hemicerebro derecho o en el hemicerebro izquierdo. Es este un fenómeno, la plasticidad, que se manifiesta física y anatómicamente con un aumento del volumen (muy estudiado en el cerebro humano por técnicas de imagen como la resonancia magnética funcional) del área cerebral responsable del aprendizaje que se está realizando (tal es el caso cuando se aprende a leer). Estos aumentos se deben, en parte, al desarrollo de los árboles dendríticos y de nuevas sinapsis de estas neuronas. Un ejemplo concreto de plasticidad neuronal muy contrastado, aun cuando no específicamente relacionado con la lectura, es el que tiene lugar en el área somatosensorial (giro postcentral, área 1 de Brodmann) del hemicerebro derecho de los músicos que tocan el violín. En esta área se localiza la representación de los dedos de la mano izquierda (dedos que son los que manipulan las cuerdas del violín). Pues bien, en el cerebro de estos músicos se detectó un aumento del volumen de la representación de los dedos no solo en comparación con otras personas que no tocan el violín, sino también con la propia representación de los dedos de la mano derecha en el hemisferio izquierdo de esos mismos músicos. De mayor relevancia aquí es el hecho de que en las personas ciegas, que leen en braille, y en estas mismas áreas somatosensoriales, también la representación cortical de su «dedo lector» (sea en el hemisferio derecho o en el izquierdo en función de que el lector sea zurdo o diestro) presenta un aumento de su volumen específico (lo que no ocurre para los demás dedos de la misma mano). Este

incremento de volumen se relaciona con un aumento en la capacidad discriminativa de ese dedo al tacto y la localización minúscula y precisa de los puntos de relieve de la escritura braille (véase capítulo 12, «¿Cómo lee una persona que no ve?»).

La plasticidad cerebral opera, en parte, a través de los períodos críticos o ventanas plásticas, principalmente durante el desarrollo, cuando circuitos que codifican para funciones varias del cerebro son más susceptibles a estos cambios. Quizás una de las ventanas plásticas más paradigmáticas en el ser humano es la del lenguaje, por cuanto esta receptividad al aprendizaje de una lengua concreta (lengua materna) se abre con el nacimiento y se cierra cuando el niño alcanza entre 7 y 12 años. Tanto es así que, si llegado a esa edad, como ya se comentó en el capítulo de introducción, un niño no ha oído hablar a un congénere durante todo ese tiempo, ya nunca podrá aprender a hablar, o lo hará de un modo bastante rudimentario. Recordemos de nuevo a este respecto la conducta de los niños aislados que comentamos en el capítulo 3 («El largo camino entre el lenguaje y la lectura»), y en particular los casos de Johan en Burundi, John Saabunnya en Uganda o Genie, entre quienes, tras su aislamiento, y aun habiendo recibido una enseñanza continuada para recuperar el habla, solo John Saabunnya parece que la recuperó bien. Pero recuérdese también, como ya comentamos en ese capítulo 3, que este niño se perdió a una edad en la que supuestamente ya hablaba (4-5 años) y que tras su aislamiento fue, además, sometido a entrenamiento, cuando tenía unos 8 años (edad en que aún está abierta la ventana plástica de adquisición del lenguaje).

Por el contrario, no existe, sin embargo, una ventana plástica para aprender a leer. Todos sabemos que se puede aprender a leer cumplida cierta edad (5-6 años) y a partir de ahí, a lo largo de todo el período de la vida del individuo, como se ha podido demostrar, repetidamente, en personas de edad avanzada. Prácticamente se puede aprender a leer, con más o menos dificultad dependiendo de las capacidades y condiciones cognitivas de la persona, a cualquier edad. Esta inexistencia de una ventana plástica para aprender a leer se debe a que la lectura es un fenómeno cultural no programado genéticamente (y que se aprovecha completamente de los propios sustratos neuronales del lenguaje oral que ya están

desarrollados). En otras palabras, no venimos al mundo preprogramados para leer, como, repito, sí es el caso para el lenguaje oral. Precisamente, aprender a leer puede ser considerado un ejemplo excepcional de las propiedades plásticas del cerebro.

La posibilidad de leer y adquirir hábito en la lectura se basa, en gran parte, en estas capacidades y propiedades plásticas del cerebro que permiten ocupar o aprovechar redes neuronales dedicadas (por preprogramación genética) a otras funciones, como son la visión y el lenguaje. No cabe duda de que el proceso de aprender a leer es una de las muestras más claras de la enorme adaptabilidad anatómica y funcional del cerebro en favor de la supervivencia del individuo (en este caso supervivencia social). El advenimiento de la lectura, la adquisición de la enorme fluidez que se puede alcanzar con ella (velocidad, seguridad, fiabilidad), es un ejemplo quizás único por su universalidad. Fenómeno que ha permitido la expansión de la comunicación humana a límites antes no imaginables.

En este contexto de plasticidad y lectura es de especial relevancia el giro fusiforme (37AB y su continuidad funcional con el área 20 de Brodmann particularmente), y en especial el área llamada VWFA (área visual de formación de palabras). Esta área o parte importante del giro fusiforme es un ejemplo excepcional de plasticidad (en el sentido de transformación y cambio parcial de su función; es decir, cambio de una función genéticamente programada por otra, producido por una presión cultural selectiva). Ocurre que ambos giros fusiformes (localizados en las cortezas temporales de los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo) son esenciales en el procesamiento neuronal que construye la configuración visual general de objetos (las formas que tienen) y muy especialmente de las caras (sean estas de niño, adulto o viejo, femeninas o masculinas). Pero con el inicio de la alfabetización una parte del sustrato neuronal de este giro fusiforme (la mencionada VWFA) comienza a procesar las palabras, tanto en su reconocimiento formal como en su ordenamiento ortográfico, particularmente en el hemisferio izquierdo. No obstante todo ello, sin embargo, esta parte del giro fusiforme izquierdo (VWFA), aun en su plena función de reconocimiento visual de las palabras, todavía sigue

conservando parte de su función de reconocimiento de las caras y también de objetos en general.

Lo cierto es que atribuir una especificidad para el procesamiento de las palabras a esta área VWFA ha sido objeto de crítica y de una intensa controversia (Price y Devlin 2003). Parece claro que parte de sus neuronas, en las personas que saben leer, responden mejor a las palabras que a caras u objetos. Y, de hecho, las lesiones cerebrales localizadas en esta área dan lugar a casos del síndrome tipificado como «dislexia pura» (casos en los que los niños parecen poder escribir o comprender oralmente las palabras pero no pueden entenderlas correctamente cuando las leen). Hoy hay un debate abierto en la literatura científica sobre si la VWFA es verdaderamente un centro «exclusivo» propiamente definido y delimitado anatómicamente como tal, y separado del resto del giro fusiforme, o, para el caso —ya lo acabo también de reseñar—, parte del giro temporal inferior. Y es que algunos trabajos de investigación demuestran que también hay neuronas localizadas y extendidas en otras zonas del giro temporal inferior (AB20), más anteriores y laterales a este mismo giro fusiforme, que también se disparan, se activan, por las letras y las palabras. En cualquier caso, es generalmente aceptada la existencia de esta VWFA y su denominación (digamos virtual), ya que parece demostrado que, a medida que el aprendizaje de la lectura progresa, el procesamiento y la construcción de las palabras se producen fundamentalmente en ella. Y, abundando en ello, se ha comprobado que, mientras que en esta área (VWFA) del giro fusiforme del hemisferio izquierdo existe una menor respuesta a estímulos como las caras durante el aprendizaje de la lectura en los niños, tal cosa no ocurre contralateralmente en el giro fusiforme del hemisferio derecho, ya que este sigue respondiendo plenamente a la configuración de las caras.

Una segunda área cerebral de igual modo importante como fenómeno plástico es el territorio de Wernicke. Esta es un área clave en la decodificación de las palabras (convertir grafema en fonema y ortografía en fonología). En ella no solo se produce un aumento de sinapsis que se relaciona con el aprendizaje y la progresión de la lectura, sino que las intervenciones psicológicas tempranas (utilizadas, por ejemplo, en el caso de los niños con dislexia) (capítulo 13) también son capaces de producir

una reorganización y recuperación funcional de su actividad neuronal. Dicha recuperación y reorganización neuronal corre paralela a una mejora espectacular en las dificultades para la lectura que sufren estos niños. Aprovechar estas propiedades de la plasticidad cerebral permite, también, mejorar los síntomas de otros síndromes como el ADHD (déficit atencional e hiperactividad), que algunos niños padecen conjuntamente con la dislexia.

Finalmente, otro aspecto relevante que valdría también la pena resaltar aquí es la atención ejecutiva, cuyos sustratos neuronales se ha ido comprobando que también son altamente susceptibles a cambios plásticos. Esto significa que son capaces de ser modificados a edades tempranas y que ello repercute en su mejor funcionamiento. La atención ejecutiva requiere la actividad de redes neuronales distribuidas en varios territorios de la corteza prefrontal (toma de decisiones y cambio consecuente de estrategias mentales). Entre ellas cabe destacar el papel de un área particularmente relevante, la corteza prefrontal dorsolateral (AB9) (memoria de trabajo), un área con redes neuronales que permiten mantener en mente lo recién leído, sea una letra o una palabra, y así poder hilarlo con sentido a lo siguiente. Y también habría que destacar la corteza cingulada anterior, relacionada con la actividad concertada con el sistema emocional (emoción-cognición-intención-acción). Funciones, todas ellas (en ambos casos), sin duda de importancia sobresaliente en el proceso de aprendizaje de la lectura. Precisamente, las capacidades plásticas del cerebro son máximas en los años de desarrollo que transcurren entre los cinco y los siete años, edad que, además, coincide con la maduración completa, ontogénica, de estas áreas. Curiosamente, a partir de los siete años estos procesos atencionales ejecutivos comienzan a ser menos moldeables. De ahí la mayor dificultad que una persona adulta no alfabetizada encuentra cuando comienza a leer. Junto con lo expuesto para las cortezas prefrontal y cingulada anterior, se encuentra también el hipocampo, que es un área muy bien delimitada y altamente plástica del «cerebro emocional» (sistema límbico) en la que se registran, principalmente, las memorias explícitas, episódicas y conscientes. Su función desempeña también un papel en la lectura. Y es que, cada vez que se lee un determinado parágrafo en el que se pinta literariamente, por ejemplo, un paisaje, se relata una conversación o se describe una reacción

emocional específica, se evocan en el lector sus propias memorias personales, relacionadas con estos eventos. Esto, al menos potencialmente, puede producir cambios plásticos en los circuitos neuronales del hipocampo. Y es este fenómeno el que provoca que, cuando ese lector describa a alguien lo que ha leído en ese parágrafo, lo haga con un sello personal único, que ya no es el genuinamente expresado por el autor del libro y que, también, es diferente del que evocaría otro lector cualquiera que leyera ese mismo parágrafo. Y eso es, a fin de cuentas, la lectura, una reelaboración constante cada vez que se lee, y que es diferente a la reelaboración que hace cualquier otro lector.

6

LOS CÓDIGOS NEURONALES DE LA LECTURA:

Puntos, líneas, curvas, letras y palabras

¿Cómo se construyen las letras y las palabras en el cerebro? Este es un ámbito de la investigación científica actual con muchos frentes abiertos a una constante rectificación y adaptación. Hoy sabemos que el cerebro, comenzando por ese «cerebro periférico» que es la retina, analiza, junto con el tálamo, las letras, descomponiéndolas en pequeños puntos de contraste luz-sombra; pequeños puntos que luego, a lo largo de las diferentes áreas de la corteza visual (lóbulo occipital), y en un proceso computacional ciertamente complejo, convergen convirtiéndose en líneas que se quiebran y cambian en las infinitas direcciones del espacio, que es lo que realmente dibuja las formas de las letras. En el camino cerebral de este proceso destacan dos vías bien definidas a través de las cuales se sigue con esa construcción de las letras. Por un lado, la vía visual ventral (hacia la corteza temporal inferior), y, por otro, la vía visual dorsal (corteza parietal posterior). A través de la primera (que podría considerarse la vía primordial en la construcción de las palabras), la información alcanza principalmente el giro fusiforme, en donde se encuentra la VWFA (área visual de formación de palabras), en la que las letras son conjuntadas para formar las palabras. La segunda vía visual (dorsal) cumple una función complementaria a la vía ventral. Se trata de una función atencional o de «detector», «corrector» o «sistema de alerta», que se da cuando, durante la lectura, hay un error en alguna letra de la palabra escrita. Este error es primero detectado por la vía dorsal, que lo comunica a la vía ventral, que está procesando las formas de las letras y luego las palabras. De modo que entre ambas vías existe una sincronización de actividad en su funcionamiento.

Las formas de todo lo que observamos en el mundo, y por las que principalmente reconocemos lo que vemos, sea una casa, sea una silla, sea una flor, se crean de acuerdo con ciertos códigos escritos en los genes y expresados en redes neuronales del cerebro. Son mecanismos ancestrales, construidos y refinados a lo largo de millones de años en ese azaroso camino que es la evolución. La lectura de las palabras utiliza estos mismos códigos. Pero, frente a la visión de las formas de algo sensorial concreto cuyo significado es intrínseco a lo que se ve (como los ejemplos que acabo de dar más arriba de casa o flor), las palabras son símbolos arbitrarios que transportan un significado convenido que ellas mismas no tienen. Son símbolos con formas que requieren una mayor «finura» visual para su

decodificación. Por ejemplo, en contraste con la visión de la «casa» o «flor» ya citados, de forma y significados claramente obvios y distintos entre sí, las formas de muchas palabras, con apenas escasas diferencias, pueden significar cosas muy dispares y alejadas entre sí. Tómense, por ejemplo, las palabras «bota» y «pota» u «hoja» y «coja».

En cualquier caso, es claro que cuando una persona mira la pantalla de un ordenador y ve una palabra escrita en ella, el primer análisis muestra que esta, la palabra, puede ser vista como un conjunto de «elementos» individualizados que están, a su vez, compuestos de pequeñas líneas rectas y curvas. Estos «elementos» son las letras o grafemas (esas unidades indivisibles de la escritura), que, en las palabras, no vienen ordenadas de una forma arbitraria sino que están en combinaciones de vocales y consonantes, según ciertas reglas gramaticales (ortografía) cuyo conjunto (palabra) transporta un significado (semántica). Significado del que carecen las así llamadas «palabras falsas» o «pseudopalabras» (por ejemplo, la palabra «expatles») (véase Glosario).

¿Qué ocurre con las formas de las letras en el cerebro? ¿Qué ocurre cuando una persona, sea adulta o niño, atenta y sentada frente a la pantalla de un ordenador, ve una letra escrita, por ejemplo la A mayúscula? La historia de este proceso comienza en el ojo, en la retina, que es el órgano sensorial que analiza en primera instancia todo lo que somos capaces de ver (Hubel 1988). Podríamos preguntarnos, figuradamente, claro: ¿qué ve la retina? ¿Ve la forma de la letra «A» representada como tal «A»? La respuesta es no. La retina lo que ve son solo puntitos de alrededor de 0,1 milésimas de diámetro. Y es que lo que ha hecho la retina es «analizar», «descomponer» en «elementos puntuales» esas líneas que conforman la figura completa de la letra «A» (véanse las figuras 4 y 5 en las páginas siguientes). Esto último ocurre porque las neuronas ganglionares de la retina, gracias a una compleja tarea computacional de análisis que discurre entre los fotorreceptores (receptores de la luz) y sus diferentes capas de neuronas, pasan el mensaje de su procesamiento a las neuronas ganglionares, que son las encargadas de hacer la síntesis última del trabajo de esta retina (véase Glosario). Trabajo que es enviado, después, a través de los axones de estas mismas neuronas ganglionares (nervio óptico), al

cerebro para su elaboración posterior (véase figura 4). Recapitulando, podríamos decir que las neuronas ganglionares de la retina (tras el previo procesamiento efectuado por las neuronas que las preceden en la misma retina) realizan un análisis final del estímulo «letra» (forma) reconvirtiendo su forma en puntitos de apenas unas décimas de milímetro. Esto último es posible gracias a las características de los campos receptivos de estas neuronas (véase Glosario), que son capaces de detectar el contraste luz-sombra que presenta la letra entre ella (negro) y el fondo de la pantalla (blanco). Estos campos receptivos de las neuronas ganglionares, en función de su diseño, compuesto por dos elementos antagónicos, un centro y una periferia (véase figura 4), hacen que, para que haya una respuesta de la neurona cuando incide en el centro un pequeño foco de luz, la periferia de ese mismo campo receptivo deba permanecer en oscuridad. Es el contraste luz-sombra lo que activa la neurona. En otras palabras, si un único foco de luz iluminara todo el campo receptivo de la neurona (centro y periferia), esta no respondería. La neurona ganglionar no entiende el mensaje «luz absoluta», solo el «contraste luz-sombra». Esa es la esencia de su funcionamiento. Podremos entender mejor este diseño de la naturaleza si pensamos en lo fácil que resulta percibir un perro negro sentado sobre la nieve blanca y lo difícil que sería distinguir a un zorro o un conejo tan blanco como la misma nieve sobre la que posa (de hecho, sería casi invisible). La percepción del perro es posible porque hay «contraste» blanco-negro; en el caso del zorro o el conejo, no. Piénsese que el campo receptivo de una neurona ganglionar es prácticamente insensible a la luz. De modo que cada letra (sea una «m» o una «l», o para el caso una «o») es descompuesta en cientos o miles de puntitos que se corresponden, cada uno, con los campos receptivos de cada neurona ganglionar. Y es así como muchas neuronas ganglionares en secuencia mapean, punto a punto, la forma de la letra.

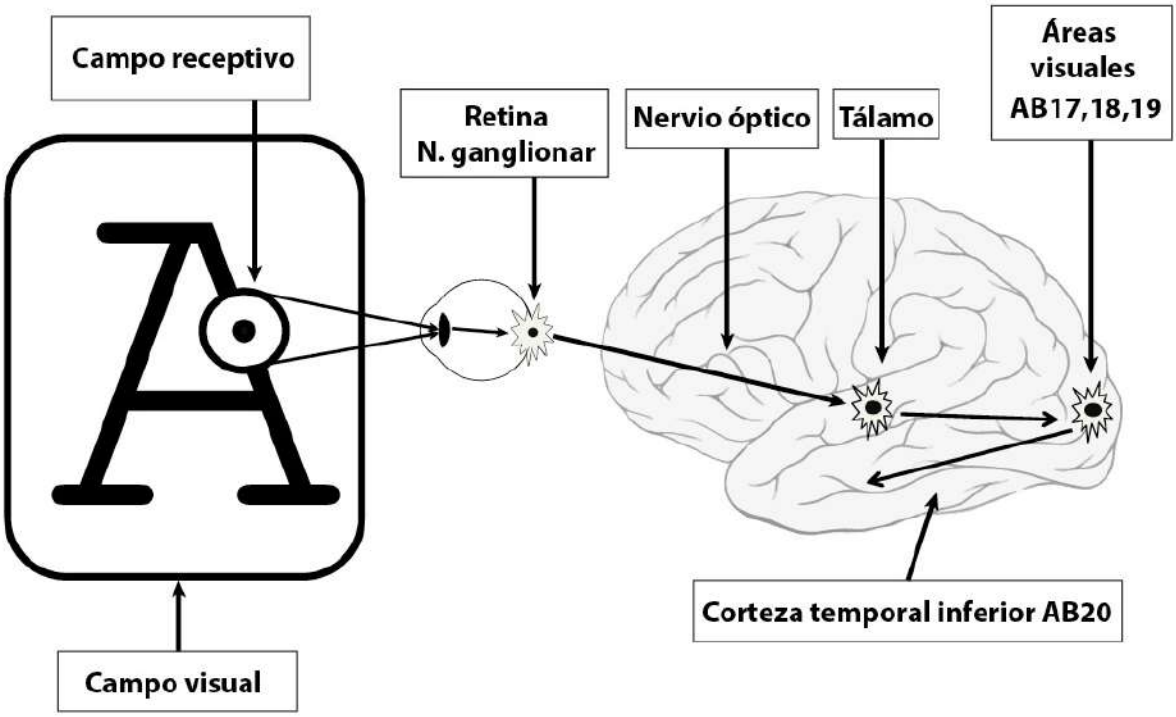

FIGURA 4. Representación del campo receptivo de una neurona ganglionar de la retina sobre una de las líneas de la letra «A». Se señala con flechas la dirección del procesamiento de la información visual a lo largo del nervio óptico hasta alcanzar el tálamo y, tras él, las cortezas visuales AB17, AB18, AB19 (corteza occipital) y AB20 (corteza temporal inferior).

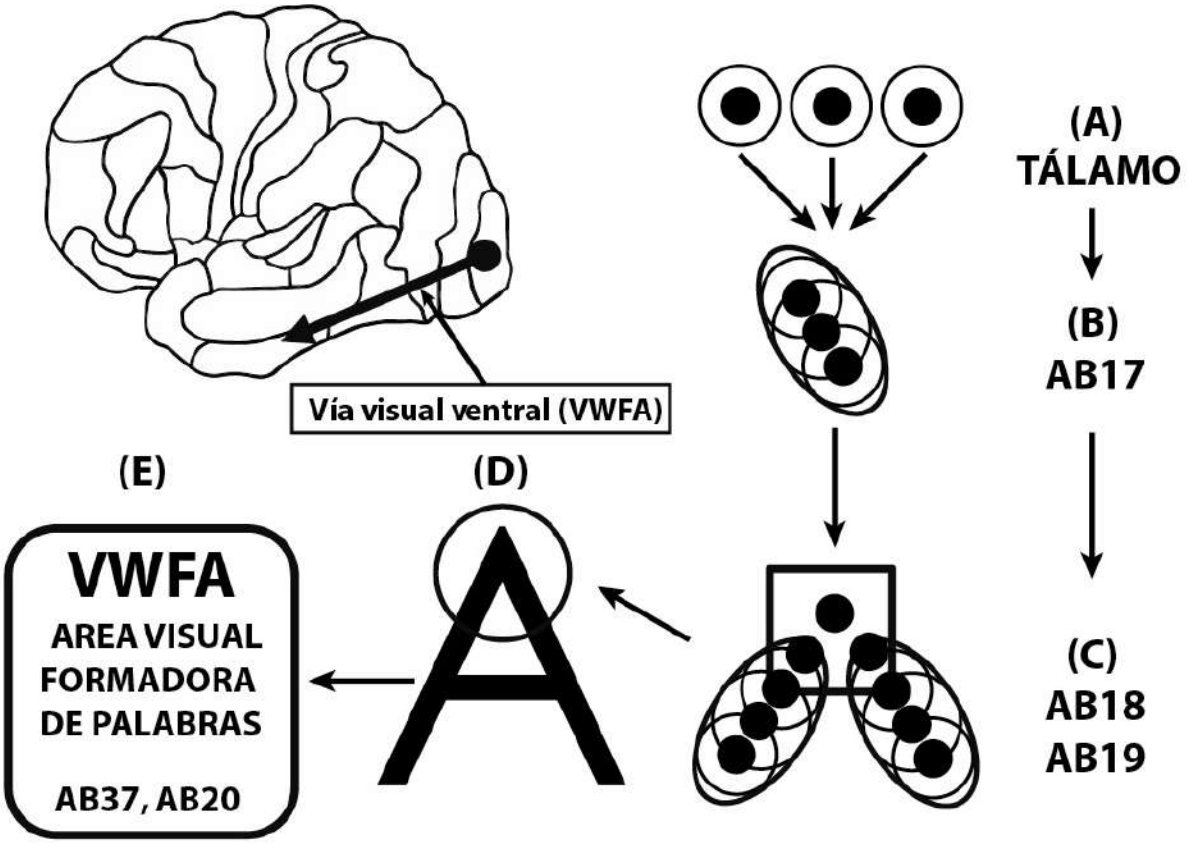

FIGURA 5. Configuración de los diferentes campos receptivos de las neuronas (circulares, simples y complejos) que llevan a la construcción de las formas de las letras (véase texto completo en el capítulo 6, «Los códigos neuronales de la lectura»). En la parte A de la figura se muestra la configuración «circular» de tres campos receptivos de neuronas visuales del tálamo que convergen sobre una neurona de la corteza visual (AB17) (B), conformando un nuevo campo receptivo ovoideo (simple) con una línea en el centro y una periferia. En C se muestra la conformación de dos líneas (campos receptivos simples) con una neurona de campo receptivo complejo (cuadrado) (AB18-AB19), dando lugar a una línea que se quiebra o cambia de dirección. En esta compleja disposición (a modo de ejemplo) se basa la construcción neuronal computacional de la parte superior de la letra mayúscula A (mostrada en D). En E se muestra la vía visual ventral por donde transcurre la construcción de estas formas hasta alcanzar la VWFA o área visual de formación de palabras (AB37, AB20).

Tal análisis inicial (miles de puntitos, y, repito, uno por cada neurona ganglionar) pasa, a través del nervio óptico, a los ganglios geniculados del tálamo (figura 4). En esta estructura (ganglio geniculado lateral del tálamo) la información procedente de las neuronas ganglionares de la retina adquiere un refinamiento, en el sentido de una mayor nitidez o contraste entre los puntitos y su entorno. Posteriormente, esta última información

pasa a ser procesada en la corteza visual primaria (corteza visual estriada, AB17) y después en las cortezas visuales de asociación (AB18 y AB19) (figuras 1 y 4). De aquí parten dos vías neuronales de procesamiento (síntesis) bien definidas. Estas son las denominadas «vía visual ventral» (hacia la corteza temporal) y «vía visual dorsal» (hacia la corteza parietal posterior) (figura 6). De ellas, la mejor estudiada en relación con la construcción visual de las formas de las letras y las palabras ha sido, sin ninguna duda, la vía visual ventral, cuya función principal describo ahora a continuación, dejando la vía parietal posterior (o dorsal) para ser tratada más adelante.

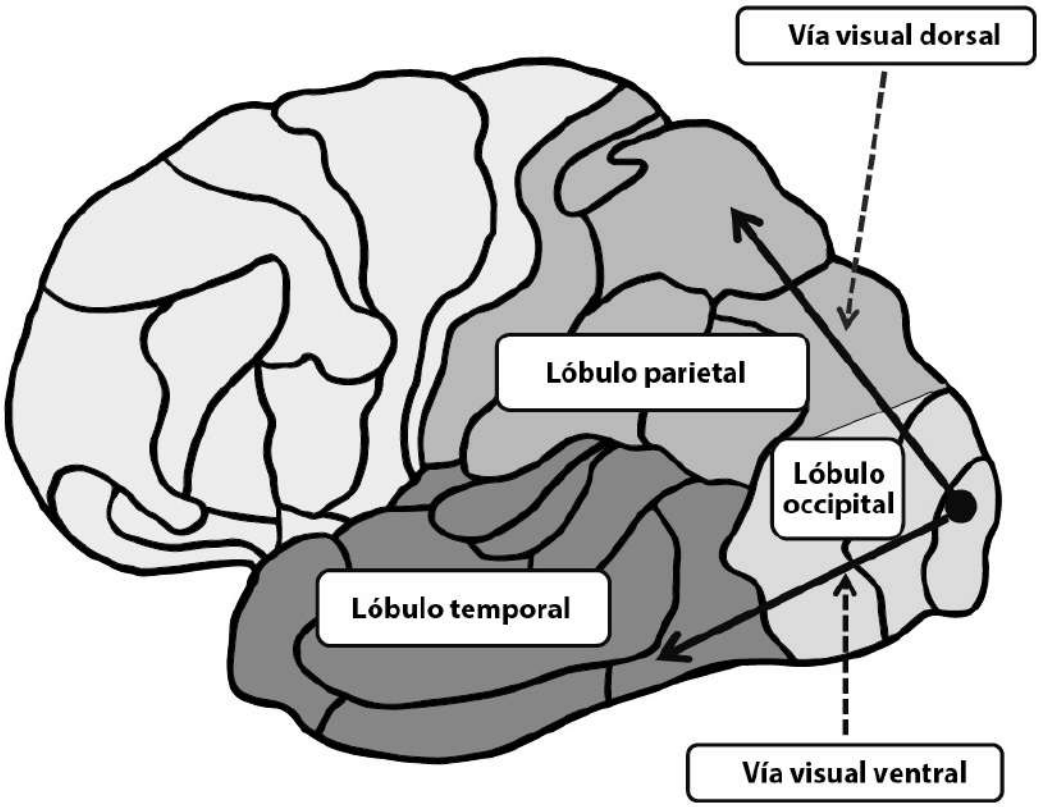

FIGURA 6. Flechas que indican la vía visual dorsal (hacia la corteza parietal posterior AB7) y la vía visual ventral (hacia la corteza temporal inferior AB20) (véase el texto que describe sus funciones).

Desde hace mucho tiempo, en lo referente a la construcción de las formas de todo lo que vemos, sea un lápiz, un jarrón o un gato, se sabe que

la información visual procedente del área visual primaria (AB17) y las áreas visuales de asociación (AB18 y AB19) (figura 1) transcurre a través de la corteza temporal, principalmente en las neuronas de su lóbulo inferior (corteza inferotemporal, AB20) (figura 6). En esta secuencia de áreas anatómicas (AB17, AB18, AB19 y AB20) sus neuronas (sus campos receptivos) pasan de detectar puntitos de contraste luz-sombra (retina y tálamo) a detectar líneas de contraste luz-sombra, y de ahí a detectar líneas o barritas que se quiebran y cambian de dirección. Como se ejemplifica en la figura 5, la interpretación de este fenómeno se basa en la hipótesis de que los puntitos detectados por un cierto número de neuronas del tálamo convergen y descargan linealmente su información conjuntamente en neuronas del área AB17, en donde (gracias a sus respectivos campos receptivos) son «cosidos» o «unidos» computacionalmente en secuencia, construyendo, de este modo, líneas (con un centro de luz y una periferia de sombra) que pueden estar orientadas en cualquier dirección del espacio. Y son varias de estas últimas neuronas (cada una de las cuales ya detecta líneas rectas orientadas en las distintas direcciones) las que, a su vez, convergen sobre otro tipo de neurona (neuronas complejas) construyendo, esta vez, líneas que se quiebran o cambian su dirección en las neuronas de las áreas AB18, AB19 y AB20. En el caso concreto de las letras, la vía ventral terminaría en la corteza temporal a la altura del giro fusiforme (AB37 y sus «alrededores», AB20) y conformaría el área así determinada, la VWFA (figura 5). De modo que, ante la visión de una letra, se pasa de su análisis en puntitos a su síntesis o reconstrucción en líneas (figura 5).

En el sumario de todo este complejo proceso biológico-computacional, reflejo del propio proceso evolutivo, se podría decir que, a lo largo de millones de años, se ha pasado de animales con una visión de foco elemental, simple, precisa y puntual (estímulos ante alimento o depredadores) a otros con cuadros de visión y perspectivas más amplias y detalladas. En otras palabras, este es un proceso evolutivo que, a golpes de medios ambientes nuevos y cambiantes (prueba-error) determinados por una mayor supervivencia entre las diferentes especies (familias, géneros, etc.) de seres vivos, ha conducido hasta esa visión tan altamente compleja que es la del ser humano actual. Y todo ello, lo repito, a partir de aquellos

puntitos simples de visión. Asombra y admira imaginar las infinitas y azarosas vicisitudes que, a lo largo de esa larga extensión de tiempo, han intervenido en este proceso. Un camino que hasta se podría pensar que se trata de un simple «razonamiento elemental» que todos podríamos hacer, pues ¿acaso no es quizás el procedimiento más intuitivo para la construcción de líneas la unión seriada de puntos? Y, más allá todavía, ¿no sería la consecuencia de las líneas que se quiebran en diferentes orientaciones del espacio, unidas entre sí, el dibujo de las formas de lo que se ve? ¿O acaso la construcción de las curvas a partir de líneas rectas lo suficientemente pequeñas, orientadas de forma diferente y en secuencia, no es una técnica o método intuitivamente razonable para la construcción de formas redondeadas (como la letra «A» en la figura 5)? En cualquier caso, y en lo tocante a su relevancia para la lectura (letras y palabras), de todo este proceso que acabo de simplificar en exceso, pero que sin duda puede ser harto complejo, la resultante final es que el cerebro construye líneas y curvas, y con ellas dibuja el contorno de cada letra del alfabeto.

Retomemos ahora el papel funcional de la corteza parietal dorsal (vía visual parietal posterior) (figura 6). Esta vía también desempeña un papel importante en el procesamiento de la información visual relacionada con la lectura no solo por sí misma (como «detector» o «sistema de alerta» ante un estímulo que requiere atención), sino también por su interacción con la propia función de la vía visual ventral que antes hemos descrito. Entre las dos direcciones de las vías visuales (dorsal y ventral) existe una sincronización constante de actividad durante la lectura. Más específicamente, las neuronas de esta área parietal dorsal se activan cuando durante la lectura de un texto, con secuencia normal (lineal, horizontal) de las palabras (como es la del español y tantas otras lenguas), de pronto, en una palabra, hay una letra mal escrita, o rotada, o con un formato raro o diferente, o con un error ortográfico, o, por ejemplo, aparece una palabra con una letra o dos superpuestas o alineadas de forma vertical y algo borrosa en relación con el texto escrito (véase el ejemplo de la figura 7). En ese momento, ante ello, se pone en marcha un proceso atencional especial inconsciente (activado a través de la vía parietal dorsal) que ayuda a reconocer la localización de esa letra «errónea» en la palabra del texto (que

está siendo procesado por la vía temporal), dando lugar a su correspondiente rectificación.

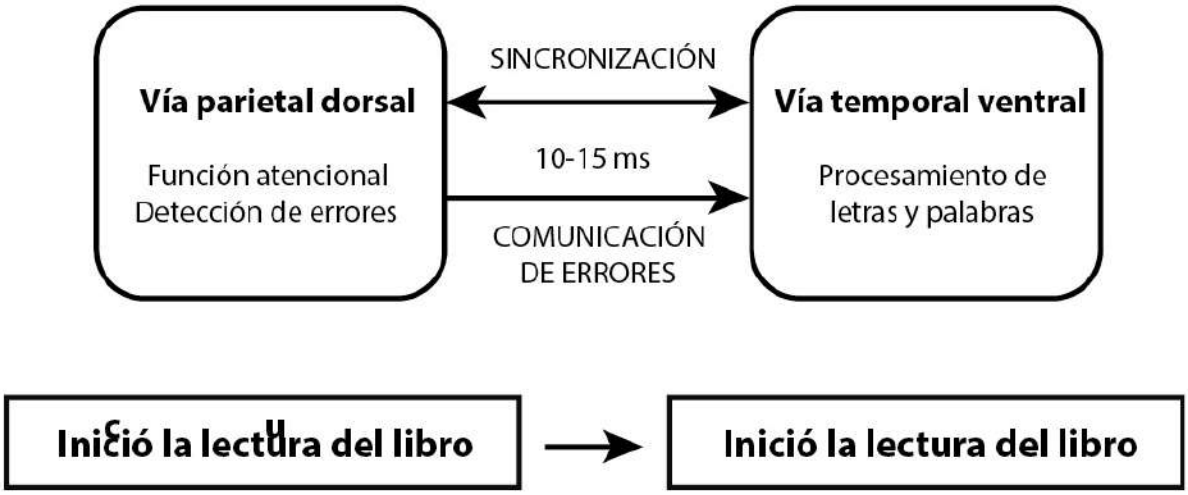

FIGURA 7. Proceso atencional inconsciente o sistema de alerta y rectificación de errores en las palabras. Interacción funcional entre la vía parietal dorsal (detección de errores en las palabras) y la vía temporal ventral, en la que se produce la corrección de estos errores (véase texto).

La existencia de esta sincronización de la actividad entre ambas vías, ventral y dorsal, se ha comprobado no solo en seres humanos, utilizando registros magnetoencefalográficos, sino también experimentalmente en primates con registros unitarios (de una sola neurona) de la actividad simultánea de dos neuronas localizadas una en la corteza parietal posterior (vía dorsal) y la otra en la corteza temporal inferior (vía ventral), mientras realizan test específicos relativos a una tarea de reconocimiento visual de un objeto. Es más, utilizando las técnicas de registro magnetoencefalográfico en personas que están leyendo un texto en el que existe una palabra que contiene un error en las letras, se observa la actividad de un potencial en la corteza parietal posterior (vía dorsal) que se adelanta unas 10 a 15 milésimas de segundo a la intervención de ese mismo potencial en la corteza temporal (vía ventral) (figura 7). Esto indica que, durante la lectura, la corteza temporal (vía ventral) es la principal vía neural que procesa un texto y que, inmediatamente a la aparición en esa lectura de un error en las

letras, se produce un cambio atencional registrado por la corteza parietal que es comunicado en 10 milésimas de segundo a la corteza temporal, lo que permitiría a esta enmendar el problema y seguir con el procesamiento secuencial de las palabras. Todo ello efectuado a la velocidad vertiginosa de 170 letras por segundo. En definitiva, son procesos neuronales realizados en paralelo y que, en lectores expertos, permitirían una percepción invariable en cuanto a la capacidad de identificar palabras correctamente, independientemente de la localización, la fuente o el tamaño de las letras (Rossaza et al. 2009). La eficacia de esta sincronización de actividad entre ambas vías, ventral y dorsal, queda clara con un ejemplo evidente y más que cotidiano cuando, muchas veces, tras descargar desde internet documentos o libros, se produce un error al convertirlos al formato adecuado para nuestro sistema lector. Letras, palabras y frases pueden aparecer unidas o cortadas de modo incorrecto y sin guardar las debidas reglas gramaticales. Aun así, un buen lector es capaz de seguir leyendo ese texto sin mucho problema. En cualquier caso, ambas vías visuales (ventral y dorsal) no deben ser consideradas como dos alternativas durante el proceso de lectura, sino como elementos funcionalmente complementarios.

Lo cierto es que, cuando leemos, de lo que al final somos conscientes, esto es evidente, no es de las letras aisladas, sino del conjunto de letras ordenadas y regladas (ortografía) que son las palabras. Y esto ocurre, se especula, porque a nivel de la corteza inferotemporal, y en ella principalmente el giro fusiforme, y alrededor de este la VWFA (área visual de formación de palabras), estos puntos y líneas (letras) son agrupados en esa configuración superior que son las palabras. Y es a partir de aquí (de las palabras) cuando otras áreas del cerebro y sus redes de interconexión terminan por construir no solo el componente emocional, inconsciente y fonológico de la palabra «vista», sino también su significado (semántica) y, con ello, los mecanismos neuronales que nos hacen conscientes de ese significado. En definitiva, estos procesos —sin duda, lo repito, complejos y explicados en brevísima síntesis— constituyen el mecanismo neuronal universal que sirve para la construcción de las letras y, después de estas, las palabras, y son, de hecho, los mismos que se ponen en marcha para la construcción de las formas (junto con otros códigos neuronales, como los

del color, el movimiento, la orientación o la profundidad y su relación con otros objetos, además de la atención y la consciencia) de todo cuanto vemos en el mundo, sea una botella, una mesa, un árbol, un elefante o la cara de una persona.

Hace un tiempo, utilizando las técnicas de PET (tomografía por emisión de positrones, imágenes cerebrales), se realizó un estudio muy interesante en personas adultas sin trastornos perceptivos o emocionales o cualesquiera otras neuropsicopatologías para tratar de descubrir las respuestas cerebrales (cortezas occipital y temporal) a diferentes estímulos relacionados con la visión de palabras (Postner y Raichle 1994). En este estudio se utilizaron cuatro estímulos visuales diferentes:

1. Palabras (por ejemplo, «caballo», «mariposa», etc.).
2. Pseudopalabras (por ejemplo, «catabalo», «topate», etc.).
3. Tiras de letras (solo consonantes, por ejemplo, «hpnrff»).
4. Trazos que simulan o parecen letras pero que no lo son y están generados por un ordenador.

Mientras se les mostraban, aleatoriamente, estos cuatro tipos de estímulos, se escanearon, como acabo de indicar, los cerebros de estas personas. Los supuestos que se deseaba comprobar en este estudio eran los siguientes:

1) Si la activación cerebral fuera simplemente debida a las características sensoriales (visuales) del estímulo (ya fueran letras, sílabas, palabras, líneas, figuras, colores, etc.) y a nada más, entonces todos los estímulos presentados deberían producir la misma respuesta.

2) Si la activación era debida al código específico de la letra, entonces la activación debería ser producida por la tira de letras, las pseudopalabras y las palabras, pero no por las letras simuladas.

3) Si la activación era producida por la regularidad ortográfica de las palabras, independientemente de su significado, entonces se producirían respuestas tanto por las palabras (significado) como por las pseudopalabras (no significado) (por ejemplo, «caballo» y «catapalo»). Es decir, las respuestas a ambas (palabras y pseudopalabras) deberían ser idénticas.

4) Si la activación fuera debida solo al significado de las palabras, entonces los resultados tendrían que ser «exclusivos» y referidos solamente a las palabras.

Los resultados de este estudio mostraron que los cuatro grupos de estímulos activaron respuestas en el área visual primaria de la corteza cerebral (AB17), y tanto en el hemisferio derecho como en el izquierdo. Sin embargo, solo en el caso de las pseudopalabras y las palabras verdaderas se produjeron, además, respuestas muy intensas en áreas fuera de la corteza visual primaria (AB17), en las áreas visuales de asociación (AB18 y AB19) y a lo largo de la corteza temporal izquierda (AB20). Haciendo resumen de todo esto, se podría deducir que, por un lado, el cerebro analiza las características visuales de los estímulos, independientemente de que sean letras, palabras o, en su caso, cualquier otro objeto que entre en el campo visual, tanto en el hemisferio derecho como el izquierdo. Sin embargo, solo las palabras verdaderas y las pseudopalabras activaron, de modo selectivo (en función posiblemente del ordenamiento ortográfico), un grupo de áreas en el sistema visual de la corteza temporal izquierda (AB20) en el que, a la luz de los conocimientos actuales, está incluida, principalmente, el área VWFA (área visual de formación de palabras). Es en esta VWFA en donde, como ya hemos mencionado, se construyen y procesan las palabras, tanto en su reconocimiento formal como en su ordenamiento ortográfico, e independientemente de su significado. Sin duda esta área es clave y selectiva para el procesamiento posterior, junto con la fonología y el «colorido emocional», del significado completo de la palabra.

7

DE LEER UNA PALABRA A ENTENDER SU SIGNIFICADO

La semántica, el significado de las palabras, se encuentra memorizada en el léxico o vocabulario que todos poseemos en nuestro cerebro. Ya hemos visto que las palabras construidas en la VWFA (área visual de formación de palabras, localizada en la corteza temporal inferior), después de alcanzar la amígdala (en donde adquieren un significado emocional inconsciente), concurren en los territorios de Wernicke y de Broca. Precisamente es sobre todo en estos dos territorios donde está el asiento de los circuitos neuronales que codifican para el léxico y la semántica. Hoy sabemos que estos dos territorios trabajan en parte como una única red funcional de procesamiento; red que se configura a través de los constantes procesos de retroalimentación que ocurren entre estas dos áreas a través de esa banda de fibras que conforman el fascículo arcuato. Hoy también sabemos que tanto léxico como semántica se almacenan en otros amplios territorios de la corteza cerebral de asociación distribuidos por las cortezas prefrontal, parietal y temporal. Entre todos ellos parece existir una retroalimentación multidireccional constante que incluye, además del procesamiento del léxico y la semántica, el procesamiento fonológico de las palabras y su ortografía. Este tráfico interactivo permitiría entender que ante errores ortográficos o de comprensión de las propias palabras haya una rápida corrección en cualquier nivel de procesamiento, realizada a una velocidad de milésimas de segundo. Estudios recientes basados en el uso de registros magnetoencefalográficos van arrojando luz sobre nuevos modelos interconexionistas computacionales en relación con la lectura. Con todo, este es un cuadro muy complejo e incompleto. Piénsese en la eventual y necesaria inclusión en ese cuadro de funciones como son la emoción, la atención, los mapas de memoria en esos amplios territorios y la propia conciencia, que nos permiten ser conscientes de lo que se lee.

Si alguien me enseñara a leer y entender algunas pocas palabras en arameo, yo, que no sé leer arameo, podría llegar a hacerlo sin mucha dificultad. De igual modo, si yo leyese esas palabras ante alguien que sí conoce bien dicha lengua, sin duda entendería lo que digo. Pero si la persona que me escucha me pidiera seguir leyendo más allá de esas pocas palabras, y yo fuese capaz de hacerlo, yo no entendería nada del texto que estuviese leyendo, porque, como acabo de indicar, no conozco esa lengua. La diferencia entre la persona que sí conoce el arameo y yo es que ella posee en su cerebro un diccionario, que yo no tengo, con los correspondientes significados de cada palabra. Eso es el léxico, el vocabulario y la semántica que todos hemos

aprendido y memorizado en su forma más elemental en nuestra propia lengua desde niños y hemos enriquecido, después, cuando jóvenes y luego adultos. Es más, cada uno, más allá de nuestro léxico común, coloquial, y el de nuestra propia lengua, y para cualquier idioma concreto, ha podido construir, además, un subvocabulario profesional compartido que pocos, aun hablando el mismo idioma, entienden bien fuera de esa profesión concreta que hemos aprendido y practicamos. Sería, como ejemplo sin duda paradigmático, el lenguaje utilizado entre los médicos o el de los abogados. En cualquier caso, vamos a hablar ahora del significado (semántica) de la palabra y del léxico (vocabulario), siguiendo el mismo discurso del capítulo anterior.

¿Qué ocurre en el cerebro cuando una persona lee una palabra y sabe lo que esta significa? Es evidente que, tras verla, debe tener acceso al léxico o vocabulario del idioma (conjunto de palabras de una lengua), en donde se guardan, en la memoria inconsciente, las palabras previamente aprendidas y lo que quieren decir (significado). ¿En dónde pues residen los sustratos neurales de ese léxico y los significados (semántica) de las palabras? Tras la secuencia de eventos neurales que hemos descrito en el capítulo anterior, y en relación con la lectura, pienso que ayudaría mucho repetir aquí algunos de aquellos primeros pasos del proceso. Pasos que podrían ahora ser seguidos a través del esquema representado en la figura 8. En ella observamos que el procesamiento de la información discurre desde la retina hasta el tálamo (análisis de las letras), y de este a la corteza visual primaria (AB17), seguida de las áreas visuales secundarias (AB18 y AB19) (construcción y síntesis de las letras). Tras ello el procesamiento sigue por la corteza temporal (vía ventral, AB37 y AB20), en donde se localiza el área de formación visual de las palabras (VWFA), conformada por redes neuronales que permiten construir la palabra completa como entidad única (ortografía). A partir de aquí, la palabra tendría acceso, tal y como ocurre en el procesamiento de las formas de todo objeto sensorial (Rolls 2003; Rolls y Graberhorst 2008; Pessoa 2008), al «cerebro emocional» (cerebro límbico) a través de la amígdala (significado emocional inconsciente de la palabra). Y es después cuando el procesamiento de la palabra prosigue su recorrido por las redes neuronales de la corteza cerebral: el sistema dorsal (territorio

de Wernicke), en donde se procesa de modo específico la fonología, pero también la semántica, y el sistema anterior (territorio de Broca), en donde residen en parte los circuitos que codifican para el léxico e igualmente para la semántica.

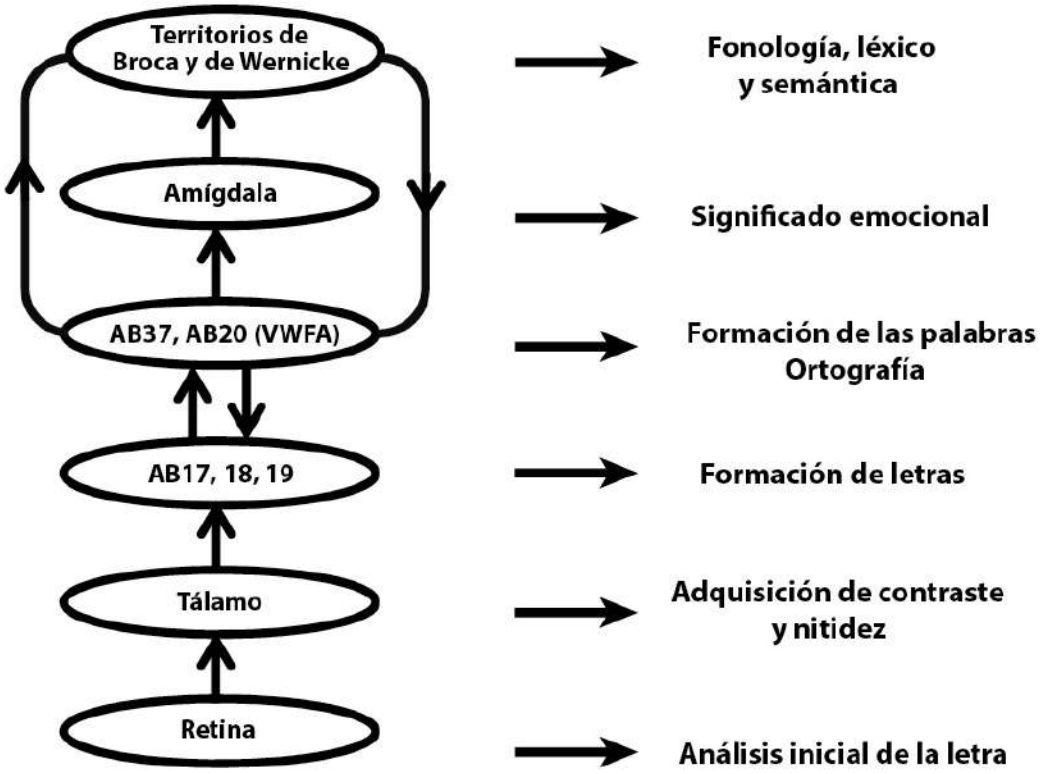

FIGURA 8. Esquema que muestra las interacciones funcionales entre los distintos niveles de procesamiento de las palabras y las frases y el texto. En aras de la simplicidad de la figura, se ha omitido la representación de las áreas de asociación frontales, parietales y temporales, que también participan en el procesamiento del léxico y la semántica (véase texto).

Hoy se piensa que la semántica tiene su verdadero asiento en ambos sistemas, dorsal y anterior, como unidad funcional (de ahí que en la figura 8 hayan sido representados conjuntamente). Es decir, que ambos territorios, aun separados anatómicamente, no trabajan de modo aislado, sino a través de un intenso diálogo realizado a través del fascículo arcuato, conformando así, propiamente, una única red de procesamiento. Precisamente el fascículo arcuato, aun siendo un solo conjunto de fibras (axones), desempeña un

papel muy relevante en estos procesos de la lectura (Perry 2009; De Schotten 2012; López-Barroso 2013). Es más, de modo más reciente se ha puesto de relieve que, más allá de la interacción funcional entre estos dos territorios de Wernicke y de Broca (y de modo similar a como se ha propuesto para el lenguaje), otros amplios territorios de la corteza cerebral (prefrontal, parietal y temporal) y el propio hipocampo también son base de registros de matices relacionados con la semántica y el propio léxico (pasos estos últimos omitidos en el esquema de la figura 8).

Desde los primeros estudios que utilizaron las técnicas de imagen cerebral por PET, hace alrededor de veinticinco años, se venía aceptando un modelo seriado y unidireccional de la información visual para el procesamiento de las letras que ascendía en complejidad *(feed-forward)*, es decir, «de abajo arriba». Hoy, con estudios que recurren a tecnologías más avanzadas (registro de potenciales evocados y magnetoencefalografía), se sabe que el procesamiento de esta información en la lectura no es propiamente unidireccional (o solo unidireccional), sino que se trata de un proceso bidireccional constante («abajo arriba» y «arriba abajo»). En particular, existe una retroalimentación multidireccional que se produce de modo constante entre los niveles «altos» de procesamiento, como son el fonológico y el semántico, que dialogan entre sí y, a su vez, cada uno de ellos dialoga con el nivel de la ortografía (Carreiras et al. 2014). En realidad, se trataría de un único sistema funcional en el que existe una constante interacción a casi todos los niveles de procesamiento de las palabras. Este tráfico interactivo de información permitiría entender, poniendo un ejemplo relativamente fácil y simple, cómo es posible que una persona que lee muy rápido y de manera fluida lea (en un texto), por ejemplo, la palabra «bocadipio» («hoy me he comido un *bocadipio* buenísimo de atún y pimientos») o «trinvrato» («... y en la Roma Clásica el *trinvrato* formado por Cayo Julio César, Cneo Pompeyo Magno y Marco Licinio Craso...») y reconozca las palabras correctas «bocadillo» o «triunvirato» sin apenas retraso por la corrección semántica de esas palabras. Sin duda, esta rectificación y el posterior reconocimiento de la palabra correcta son posibles porque el cerebro contiene una información procedente de niveles «altos» (semántica) en diálogo con niveles «bajos»

(ortografía). Se trata, además, de correcciones efectuadas a una velocidad de milisegundos y que son similares y nos recuerdan a las que se realizaban a niveles más bajos de procesamiento en la lectura, como acabamos de ver en relación con la corrección de las letras (entre la vía parietal posterior, las vías dorsal y temporal inferior y la vía ventral) (véase la figura 6 en el capítulo 6).

Todo esto debería sorprendernos hoy muy poco si tenemos en cuenta nuestros conocimientos actuales acerca de otras muchas funciones cognitivas altas (mentales) cuyo procesamiento no está localizado en ninguna parte de la corteza cerebral como tal, sino que son resultado de un diálogo constante (funcional) entre las neuronas de un sistema o red neuronal y otros sistemas o redes con miles o decenas de miles de reentradas. La función, en estos procesos, no viene escrita propiamente en códigos de espacio (localización anatómica), sino en códigos de tiempo (patrones de frecuencias y disparo de las neuronas). Es decir, en cómo la información corretea en las redes y entre redes e interactúa con sus neuronas para desembocar, como resultado de ello, en esa determinada función. Es precisamente gracias a la ventaja que proporcionan los registros magnetoencefalográficos modernos, que poseen una resolución temporal de milisegundos, muy similar al tiempo real en el que se sucede el procesamiento de las altas funciones cognitivas en la corteza cerebral, como se espera un avance considerable en el conocimiento de esta interacción en los procesos relacionados con la lectura, así como de los propios procesos mentales, como, de hecho, se está demostrando con recientes modelos interconexionistas computacionales. Por ejemplo, se ha podido comprobar que aproximadamente 150 milésimas de segundo después de aparecer una palabra en la pantalla de un ordenador se produce un aumento de la actividad neuronal específica en, y alrededor de, la VWFA (área visual de formación de palabras), seguido, a los pocos milisegundos, de un incremento de la actividad neuronal en los territorios de Wernicke y de Broca. Tras ello, 50 milésimas de segundo después, se inicia un proceso de retroalimentación desde esos territorios, muy particularmente el de Broca (giro frontal inferior —AB47—), que vuelve a alcanzar, de nuevo, esta área VWFA (figura 8). Esto indicaría que la información superior (semántica,

léxico) influiría por medio de ese proceso de retroalimentación en el propio procesamiento ortográfico de la palabra, aportando datos que ayudarían a identificarla y a diferenciarla, por ejemplo, de una pseudopalabra. Esto demostraría con precisión la eficiencia de estos procesamientos en la lectura. De modo que, en aproximadamente unas 100-200 milésimas de segundo, la palabra vista en una pantalla no solo es detectada en la VWFA y las áreas dorsal y anterior (Wernicke y Broca) (abajo-arriba), sino que, casi en la misma horquilla de tiempo, esta palabra «regresa» a la VWFA, donde es modulada (arriba-abajo) por una información léxica/semántica de orden superior. Todo esto demuestra, de una manera contundente, que junto al proceso «abajo-arriba» existe este otro «arriba-abajo», simultáneo, que retroalimenta la función desde las áreas superiores de procesamiento y también entre ellas. Ello ayuda, considerablemente, como creo haber señalado ya en este mismo capítulo, a la precisión y la rapidez de identificación y significado de las palabras.

Es claro, pues, que los circuitos o redes neuronales que codifican para la lectura de las palabras son procesos funcionales interactivos a múltiples niveles. Pero también es cierto, sin embargo, que el código de funcionamiento preciso de este diálogo neuronal está todavía muy lejos de permitirnos conocer sus detalles y de ser propiamente descifrado, tanto en lo que se refiere a los sistemas neuronales centrales de procesamiento de la lectura (sistemas ventral dorsal y anterior y áreas corticales de asociación) como respecto a otra serie de funciones como la emoción, la atención, la memoria y la propia conciencia, que hacen al sujeto consciente de «saber» lo que está leyendo. No me cabe duda de que llegar a conocer los códigos por los que los hilos del tiempo corretean y cosen las costuras del tejido cerebral que permite la lectura es uno de los grandes desafíos de la neurociencia cognitiva actual.

8

DE LA PALABRA A LA FRASE Y DE ESTA AL TEXTO Y SU COMPRENSIÓN

En el análisis y procesamiento de la lectura hay un salto cualitativo desde la simple palabra hasta la frase y de esta a un texto largo. Este capítulo describe, muy sintéticamente, ese salto de la semántica (palabra) al significado de una frase (sintaxis) y, más allá, al conjunto de frases en un texto, con la inclusión de matices, metáforas, inferencias, ambigüedades semánticas y prosodia, hasta alcanzar, finalmente, su significado global. Restringiendo el análisis a las estructuras base del procesamiento de la lectura en el hemisferio cerebral izquierdo, se podría decir que, en lo que respecta a la actividad neuronal de la VWFA, así como también del territorio de Wernicke, varios estudios no han encontrado diferencias significativas en su actividad neuronal entre la lectura de una palabra y la de una frase o un texto. En contraste, sin embargo, y en lo que respecta a la actividad neuronal del territorio de Broca, algunos otros estudios sí han constatado diferencias significativas. Además, en este hemisferio cerebral izquierdo, y en el caso de la lectura de textos, hubo también un aumento de actividad en otras áreas cerebrales, como la corteza cingulada anterior, el hipocampo, la corteza prefrontal dorsolateral y los ganglios basales. Lo más interesante y digno de destacar en el caso concreto de la lectura de textos (varios estudios lo han mostrado) es que también el hemisferio cerebral derecho participa específicamente en su procesamiento: se produce un aumento de actividad tanto en el sistema ventral (VWFA) como en los territorios de Wernicke y de Broca. A ello hay que añadir el reclutamiento de este hemisferio derecho muy particularmente en el procesamiento de la prosodia (pronunciación, acentos y entonación). Y también el análisis que requieren los textos en relación con nuevas inferencias, ambigüedades semánticas o metáforas que puedan contener.

En un libro de literatura, una novela o un cuento, leer una frase o un texto no solo implica comprender el significado de las palabras que lo componen, sino también entender el nuevo significado de estas en el contexto de una frase (sintaxis) y, por supuesto, deducir el de las frases en el conjunto de ese texto, que puede ser corto o largo (matices, metáforas, inferencias, ambigüedades semánticas, etc.). Todo esto conlleva, además, la tarea de relacionar lo que se lee con ese otro mundo complejo que, desde la memoria personal del lector (ideas, emociones, experiencias, aconteceres y sucesos vividos), se vincula con lo que se está leyendo. Porque un lector no es ningún robot que, sin conciencia personal (y, desde luego, emocional) previa del mundo, interpreta simple, fríamente y de modo aséptico

(computacional, si se quiere) los significados del texto leído. Esto conduciría al error de pensar que lo que se lee y su interpretación global son iguales para cualquier lector (asumiendo que los robots de los que hablamos estén construidos con una misma fabricación mecánico-cognitiva). Por el contrario, comprender globalmente el significado de un texto en toda su dimensión (conceptual, emocional y sentimental) significa que ese texto, de alguna manera, es siempre diferente para cada persona. Esto nos lleva, de nuevo, a la idea última de que leer es un acto personal único. Es decir, que cada lector de un mismo libro extrae de su lectura conocimientos y experiencias diferentes. Todo esto nos debería conducir a comprender que, más allá de la palabra aislada y su significado, y más allá de la sintaxis y sus nuevos significados en una frase, y hasta de los significados del contexto o conjunto de las frases, están los nuevos significados, conceptuales y emocionales, que cada lector añade en su propia lectura con la resonancia de sus experiencias personales. Esto último es quizá un capítulo que, por su complejidad, todavía está abierto a la investigación de la lectura y el cerebro.

Pero comencemos describiendo de modo muy sucinto y a grandes rasgos lo que se va conociendo acerca del procesamiento cerebral (hemisferio cerebral izquierdo), que distingue entre la lectura de una palabra, la de una frase y, más particularmente, la de un texto. Algunos estudios, utilizando técnicas de imagen cerebral, principalmente la resonancia magnética funcional, han señalado que en los sistemas ventral (corteza temporal VWFA) y dorsal (territorio de Wernicke, referido aquí a la ortografía y fonología, fundamentalmente) hay pocas diferencias en cuanto a la intensidad de las respuestas de la actividad neuronal a la lectura de una frase o un texto y la lectura de una sola palabra. Por el contrario, en el sistema anterior (territorio de Broca: léxico y, principalmente, semántica) sí se constataron diferencias significativas, con un aumento de su actividad en el caso de la lectura de textos cuando se compara con la lectura de una sola palabra. Esta actividad aumenta sobre todo alrededor del giro frontal inferior (AB47). Pero, es más, este aumento de la actividad se extendió, más allá de las áreas que componen el propio territorio de Broca, por la corteza prefrontal, en particular, pero también por la corteza cingulada

anterior, cuyas redes neuronales codifican para la convergencia de funciones relacionadas con la *atención → percepción → emoción → cognición → intención → acción*. También se detectó, además, un aumento de actividad en el hipocampo, que, como hemos señalado en el capítulo 5 en relación con la plasticidad, codifica para la memoria explícita-episódica consciente de lugares, tiempos y contexto de sucesos y cuya función estaría supuestamente vinculada a la evocación de memorias del propio lector suscitadas por el texto que está leyendo. Asimismo se registró un aumento de actividad en la corteza prefrontal dorsolateral (AB9), que codifica para la memoria de trabajo, es decir, aquella función clave consistente en mantener en la mente las palabras el tiempo necesario para poder analizar la sintaxis, o en seleccionar, entre varias posibles interpretaciones, el significado de una frase. Y, finalmente, también se constató un incremento de la actividad en los ganglios basales en su conjunto y en lo que se conoce como «componente procedimental», que hace referencia a la planificación o secuencia de las palabras de los textos.

Complementariamente, hay varios estudios que demuestran que durante la lectura de textos también se produce en el hemisferio cerebral derecho un aumento de la actividad neuronal en las tres áreas principales que codifican para la lectura, el sistema ventral (VWFA), el sistema dorsal (Wernicke) y el sistema anterior (Broca), aunque destaca especialmente el incremento de actividad en el sistema anterior (Broca). Con todo, sin embargo, el aumento de la actividad en este último sistema (Broca) en el hemisferio cerebral derecho es de menor intensidad que el que se produce en el hemisferio cerebral izquierdo durante esta lectura de textos. Este reclutamiento del hemisferio cerebral derecho se ha atribuido, por un lado, al procesamiento de la prosodia (pronunciación, acentos y entonación), pero, por otro, también, a la necesidad de análisis que requieren los textos en lo referente a los nuevos significados, que incluyen nuevos matices, inferencias, ambigüedades semánticas o metáforas; metáforas que van desde las más simples, como por ejemplo «y realmente el caballo voló» (expresión clara para todo el mundo de la velocidad vertiginosa a la que galopa el caballo), hasta las más complejas, como, quizá, la tan manida frase coloquial «yo creo que esa persona ha perdido un tornillo». O inferencias como «de lo que

sé, que es muy poco, podría deducir, o pensar, o suponer, que Isabel mañana no viene a la fiesta», o frases con ambigüedad semántica, como «¿qué es eso de que Juan quiere montar a caballo?».

Evidentemente, me estoy refiriendo a la comprensión de conceptos que en sí mismos no expresan lo que, de cierto, quieren decir en su literalidad. Todo el mundo sabe que cuando a alguien se le dice «has perdido un tornillo», el mensaje no alude ni a «tornillos físicos» (que se le han caído de un bolsillo, por ejemplo) ni tampoco a «tornillos mentales», que no existen, sino que significa, en un sentido coloquial, figurado, «estás loco» o «estás desvariando», sentido tal vez derivado de la comparación con una máquina que no funciona bien porque ha perdido alguno de sus componentes básicos. Lo mismo se podría decir de la frase «Andrés tiene el ánimo por los suelos», utilizada para expresar que Andrés está deprimido. O también, para el caso, si en una página de literatura aparece la frase «sobre su cabalgadura disfrutaba de la vista de un precioso paisaje», es claro que el lector inferirá que la persona va montada en un caballo. En cualquier caso, es evidente que las inferencias y metáforas incluidas en un texto, particularmente en el contexto de una obra literaria, son importantes, durante su lectura, para su comprensión. Pues bien, en todo ello parece desempeñar un papel muy relevante el hemisferio cerebral derecho. Y, de hecho, datos clínico-neurológicos muestran que los pacientes con lesiones en este hemisferio pierden la capacidad de integrar metáforas e inferencias en la comprensión global de un determinado texto.

Lo que hemos referido aquí de forma sinóptica nos indica el solapamiento y, también, las diferencias que existen entre la lectura de palabras, frases y textos y que se registran en la actividad de los circuitos neuronales que son su sustrato cerebral. Y señala, en general, que para el procesamiento cerebral de la lectura, en especial la lectura de textos, se requiere la actividad de un territorio neural mucho más amplio que el necesario para el procesamiento de una sola palabra o una frase corta, es decir, que implica la participación de ambos hemisferios cerebrales, derecho e izquierdo.

9
LA EMOCIÓN DE LAS PALABRAS

Las emociones son generadas por ese motor que todo ser vivo lleva dentro y con el que reacciona e interacciona con el mundo que lo rodea. Son procesos inconscientes que el individuo utiliza para sobrevivir y comunicarse y para hacer más sólido lo que aprende y memoriza. Las emociones se elaboran a partir del mundo sensorial (o la evocación de eventos sucedidos y registrados en la memoria), sean las formas y el color de una simple manzana o las hermosas líneas de una escultura o una obra arquitectónica o, para el caso, la visión de cualquier objeto o ser vivo. Las emociones se elaboran en códigos genéticamente programados que existen en las redes neuronales del sistema límbico o «cerebro emocional». Se ha propuesto que es en este sistema límbico donde las palabras, esos «objetos simbólicos» de formas diversas, también adquieren «colorido emocional». Este capítulo es una reflexión acerca de esos significados emocionales que transmiten las palabras. Es decir, una reflexión acerca del valor de la emoción en los mundos mentales que se describen en los libros en los que se reviven hermosos paisajes o la infinita gama de matices que adornan las vidas de hombres, mujeres y niños.

Las palabras son las unidades inteligentes más básicas (significado) con las que se realiza la comunicación humana. Las palabras escritas son como las piedras con las que se construye esa arquitectura, tantas veces hermosa, que es la literatura. Arquitectura y belleza, sin embargo, que solo se dejan «sentir» cuando las piedras (las palabras), previamente embebidas de significado emocional inconsciente, son conjuntadas, de una cierta forma, en las frases, y estas en un texto, siendo así posible hacer brotar nuevas emociones, sentimientos, ideas y conocimiento.

La emoción es uno de los fundamentos biológicos más profundos de todo ser vivo y, desde luego, de la existencia humana. Por eso la emoción está en el corazón mismo del funcionamiento del cerebro. La emoción se elabora a partir de los estímulos provenientes del mundo sensorial, sea la visión de una manzana, la especial arquitectura de un edificio o monumento o un libro, en esa parte del cerebro que hemos llamado «cerebro emocional» o «cerebro límbico». Y es ahí donde todo lo que se ve, se oye o se toca hace despertar ese placer o ese dolor inconsciente por las cosas del mundo. Y también ese chispazo emocional que llamamos curiosidad.

Pues bien, las palabras escritas, que a fin de cuentas son «objetos simbólicos» inventados por el hombre, son procesadas por el cerebro del mismo modo que cualquier otro objeto visto (sensorial), como es el caso de la manzana que acabamos de mencionar. Es decir, que primero la palabra es analizada punto a punto y letra a letra, después se reconstruyen las letras a lo largo de las vías visuales y, finalmente, en la VWFA (área visual de formación de palabras) las letras son unidas y convertidas en palabras (ortografía). Desde esta última zona cerebral (VWFA) esas palabras, ya construidas como tales, pasan al sistema límbico, en donde adquieren significados emocionales (figura 2).

Las palabras escritas, pues, y con ellas las frases y los textos, vienen ya «impregnadas» de las experiencias emocionales. Primero, las del propio escritor de un texto, puestas en el contexto de un cuento o novela y en sus personajes, y, después, las de cada lector, hechas únicas en él. Experiencias emocionales que, sin aflorar conscientemente, provocan en el lector «chispazos» que le llevan a apreciar o rechazar (placer o disgusto) lo que lee. Esto es importante saberlo y tenerlo en cuenta cuando se enseña (maestro) o se aprende a leer (alumno). Es decir, que una palabra, «caballo» por ejemplo, en el contexto en que escribe el maestro en la pizarra, alude a su propia concepción inconsciente (la del maestro) de «caballo» (significado emocional), que no es la misma que la que el alumno crea o evoca en su mente cuando lee la misma palabra. Los matices («colorido emocional») que adquiere el caballo al pasar la información por el sistema límbico (amígdala) ya hacen a la palabra «única» para cada persona. ¿Acaso no recordamos la iluminación mental (quizá no tanta para otros) que en los tiempos de la pubertad supusieron los «fogonazos» tempranos que muchos recibimos al iniciar la lectura de los clásicos de la literatura? Yo todavía recuerdo, y además sólidamente, por ejemplo, esa evocación en largas estrofas del soliloquio que sobre la vida y la muerte escribió Pedro Calderón de la Barca (1600-1681). De él entresaco:

> ¿Qué es la vida? Una ilusión,
> una sombra, una ficción,
> y el mayor bien es pequeño:

que toda la vida es sueño,
y los sueños, sueños son.

Recuerdo las discusiones y comentarios acerca de lo que, para cada uno, en el grupo de amigos, significaban estos versos. Son recuerdos que han podido quedar fijados de forma permanente, como huellas, en el cerebro de muchísimos lectores jóvenes y, sin embargo, no tanto, o nada, en otros. Al igual que muchos otros fragmentos de libros hermosos, quizá leídos ya en la adolescencia. Precisamente de aquellos tiempos tempranos, enamoradizos, también recuerdo la lectura de la escena de *Romeo y Julieta* (William Shakespeare) en la que Romeo, escondido en el jardín de los Capuleto, le dice a Julieta: «Con ligeras alas de amor franqueé estos muros, pues no hay cerca de piedra capaz de atajar el amor», a lo que Julieta contesta: «¡Te asesinarán si te encuentran!», y responde Romeo: «!Ay!, Julieta, más miedo hallo en tus ojos que en veinte espadas de ellos». O, más tarde, en los tiempos ya algo más «pensantes» de la universidad, la belleza evocadora que encontré en la lectura de muchos párrafos de *El mito de Sísifo* de Albert Camus (1913-1960), entre los que entresaco aquel en el que describe, de modo tan emotivo, el castigo que sufrió Sísifo, condenado a empujar desnudo, con brazos y hombros, una roca montaña arriba y contemplar, estando ya en la cima, cómo, sin poder impedirlo, la piedra rodaba de nuevo montaña abajo y él tenía que volver al inicio y repetir la misma tarea.

> ... Y así Sísifo vivió muchos años ante la curva del golfo, la mar brillante y las sonrisas de la tierra [...]. Pero Mercurio bajó a la tierra... y le apartó de sus gozos y le llevó por la fuerza a los infiernos [...]. Su odio a la muerte y su apasionamiento por la vida le valieron ese suplicio indecible [...]. He ahí el precio que hay que pagar por las pasiones de la tierra.

Y es que —me gustaría repetirlo una vez más— la lectura de un libro contiene tantos matices y riquezas, inferencias y metáforas, que va mucho más allá de las propias palabras escritas en él. Palabras destiladas unas del texto mismo (impregnadas ya del colorido emocional que les imprimió el escritor y que aflora cuando se agrupan en el contexto de una frase) y otras posteriores, y ya de carácter emocional (recuerdos), que son las del propio lector. Y es que no deberíamos olvidar que las palabras escritas (y también habladas) son como barquitos que transportan un mensaje (semántica) pero

que navegan en ese mar de tiempo inmenso, y tantas veces proceloso, que es la emoción. Y esa emoción salpica a las palabras, a la frase o al texto, como acabo de señalar. Escribió Agatha Christie (1890-1976) en una de sus novelas, *Appointment with Death (Cita con la muerte):* «There was nothing in the words themselves, but the venom with which they were spoken» («No había nada en las palabras mismas sino el veneno con que fueron dichas»). Eso mismo es lo que sabe expresar por escrito un gran autor, que crea con su texto un mundo que va más allá del significado estricto, conceptual, plasmado en las palabras mismas.

También la emoción, más que ningún otro parámetro (como lo es la fonología cuando se comienza a leer), es un gran predictor de si alguien, finalmente, va o no a leer un libro o si va a continuar leyéndolo una vez comenzado. Cuando un lector está decidido a iniciar la lectura de un libro, lo primero que se pone en marcha en su cerebro es esa emoción inconsciente positiva que moviliza toda su maquinaria cognitiva con relación a aquel. Esta disposición no responde a algún estímulo concreto sino posiblemente a una serie de eventos que convergen y se expresan en el acto de adquirir el libro y comenzar a leerlo. Nadie compra un libro (o se acerca a sacar cualquier libro de una biblioteca) sin una «energía interior» que lo empuje a ello, sin un conocimiento o una emoción previos acerca de lo que espera encontrar en él. Conocimiento o emoción que pueden ser producidos por otras lecturas previas, anuncios en las redes o medios sociales, opiniones de otras personas, el nombre del autor, el título mismo del libro, la impresión de la portada o los comentarios varios que ha escuchado. Y ya con él entre las manos, y comenzada la lectura, unos lectores se «enganchan» y prosiguen con ella mientras que otros la abandonan. A los que se enganchan, las primeras páginas, pocas o muchas, les generan cierta curiosidad, ese chispazo emocional inicial que induce a mantener la atención despierta. Curiosidad que, posiblemente, pueda estar relacionada con la resonancia inconsciente que lo leído hasta entonces tenga en las propias memorias emocionales del lector.

Y todo esto me lleva a reconsiderar que no extrae las mismas emociones y pensamientos un lector niño que un púber o un adolescente, ni un joven en sus distintos periodos, un adulto en comparación con un viejo. Y, aún

más, esa emoción es variable en cada persona según su disposición personal y mental, sus vicisitudes vitales, su educación y cultura, e incluso según el día en que se realiza la lectura, los cambios homeostáticos del organismo (sueño, hambre, sed) y el momento psicológico concreto en que se encuentra el lector. Nadie, por tanto, ningún ser humano en el mundo (ya lo adelanté en el capítulo anterior) extrae de un texto literario lo mismo que cualquier otro. Cada persona (su cerebro emocional) almacena las experiencias vividas a lo largo de toda su existencia, que son únicas y que son las que reviven o contrastan cuando lee y con lo que lee. Por eso un mismo libro es siempre diferente para cada persona, e incluso para esta misma cuando lo relee algún tiempo después. Y esa diferencia, real, la crea cada lector. De hecho, cuando alguien escribe un libro, debería saber que no ha escrito solo uno, sino posiblemente miles, pues cada lector reescribirá cada libro que lee y cada vez que lo lea.

Y con la emoción que evocan las palabras escritas en el texto y la propia disposición del lector, este se «aferra» al mundo en que vive (o, por el contrario, «huye» de él). Muchos lectores, así, encuentran en los libros alegría y placer y las experiencias recompensantes de las que carecen en su propio mundo personal, real. Y es que una persona que está sumida en la tristeza o experimenta una situación de despecho o rechazo puede encontrar momentos de placidez huyendo, por medio de la lectura, a otros mundos más gratificantes, aun cuando estos sean vividos por los personajes del relato. Y es que leer, tantas veces, es revivir los mundos mentales de esos «otros» que «corretean» por las páginas de los libros y que jamás afean «vivencialmente» la conducta propia, la de cada uno. Antes al contrario, el lector les permite, en silencio, entrar desde las páginas del libro en su vida personal a través de lo que imaginan y sienten, y encuentra en ello, a veces, un reflejo de sí mismo. Leer es revivir un hermoso paisaje, sentir sin ver, ni tocar, mundos de caricia y abrigo o ingratos y dolorosos. Leer siempre significa ver a través de «otros» mundos diferentes y, con ello, encontrar y conocer una colección infinita de matices humanos con múltiples registros e ingredientes. Y todo gracias a las palabras, esos elementos de magia que, en el rincón de una habitación, en el sofá ante una chimenea, en el pico de una

montaña o en las arenas saladas y tibias de una playa, evocan emociones, sentimientos y pensamientos.

10
APRENDIENDO A LEER

Aprender a leer de modo reglado es un largo proceso cerebral que comienza en el niño a los 5 o 6 años. Tanto el aprendizaje inconsciente del niño (desde el nacimiento hasta los 3 años) en el seno de la familia como después el aprendizaje consciente, en ese mismo ambiente, hasta los 5 o 6 años en que se le empieza a enseñar a leer, constituyen períodos que influyen mucho en el aprendizaje de la lectura. Las primeras páginas de este capítulo están dedicadas a reflexionar sobre ello. Después se hará un repaso de las diversas aproximaciones docentes que se realizan en distintos colegios y con las que aprenden los niños a leer. Hoy se destaca sobremanera el valor de la fonología (grafema a fonema) como principio rector de este aprendizaje de la lectura. Al final del capítulo se hace un comentario especial acerca de esos colegios, llamados «libres» o «democráticos», en los que los niños no solo aprenden a leer solos sino que lo hacen cuando se consideran en disposición adecuada para ello.

El niño, desde que nace —y hoy sabemos que desde mucho antes, ya en el útero de la madre—, es una verdadera máquina de aprender. De hecho, el ser humano necesita aprenderlo casi todo. Es cierto que hay un diseño genético poderoso grabado en los circuitos de su cerebro que al nacer (cuando es aún muy inmaduro: 450 gramos de peso; recuérdese que el de una persona adulta suele pesar alrededor de los 1.450 gramos) le impulsa a comer y beber de un modo, podríamos decir, casi «instintivo». Pero, aun así, el recién nacido necesita aprender en el mundo sensorial y emocional (principalmente, a través de la madre) cómo buscar, y eventualmente encontrar, ejecutar y refinar, la conducta emocional y motora adecuada para alcanzar con seguridad todo ello. Esto último, especialmente en el ser humano, es consustancial al hecho de estar vivo, de sobrevivir. De ahí, también, el aserto, tantas veces señalado, que dice «aprende mal y perecerás pronto».

Antes de nacer, en la etapa fetal, el niño ya es capaz de percibir las diferencias entre la voz de la madre y otra voz femenina. Y también aprende, ya recién nacido, a distinguir fonemas de ruidos. Pocos días después del nacimiento el proceso de aprendizaje ya le lleva a realizar

movimientos de orientación hacia voces que se expresan en la lengua materna frente a otras lenguas, y también a responder a gestos repetidos que le haga una persona; por ejemplo, si abrimos la boca y sacamos la lengua varias veces delante de un bebé, comprobaremos que este termina repitiendo ese mismo acto motor. Todo esto indica que el cerebro humano, desde muy temprano (feto y recién nacido), ya expresa códigos de aprendizaje sensoriales y motores de reconocimiento inconsciente. Se trata de códigos heredados y creados a lo largo del proceso evolutivo humano. Y, por supuesto, el aprendizaje del lenguaje oral (el habla) está, del mismo modo, férreamente anclado en el genoma humano.

Pero hay otros códigos, como ocurre en el caso de la lectura, que se activan mucho tiempo después, pero esta vez por determinantes culturales, no genéticos. Precisamente la lectura es un proceso costoso, de comienzo relativamente tardío en el niño. Aprender a leer bien y alcanzar fluidez en la lectura (contrariamente a lo que ocurre en el caso de la fluidez en el habla) requiere muchos años de duro trabajo y entrenamiento diario. A lo largo de ese período de tiempo hay una gran variabilidad de factores que influyen en la marcha de ese aprendizaje, entre los que destacan el medio ambiente (familiar y cultural principalmente) en el que vive el niño y la lengua de que se trate. Ciertamente, un niño tiene muchas cosas que hacer y practicar antes de adentrarse en el aprendizaje de la lectura. Tiene, por supuesto, que aprender a hablar, pero también aprender todo ese mundo sensorial que lo rodea para poder reconocerlo y nombrarlo con el lenguaje, tanto emocional (primero) como noético —el de las palabras— (después). El niño tiene que conocer los perceptos o unidades perceptivas de un determinado objeto, por ejemplo, la visión de una hoja, que supone la percepción individualizada de todas sus infinitas «realidades» de forma, color, movimiento, orientación, sonidos, tacto, olor y hasta gusto. Pero también la «realidad» de esa misma hoja y los efectos del tiempo sobre ella, desde los cambios de forma, color y sonido hasta los de textura y olor, y desde que nace en primavera, con su verde acharolado y brillante, hasta que muere, con su aspecto mate y color ocre, amarillo o rojizo en otoño. Y desde el sonido fresco que produce cuando es movida por el viento en primavera hasta su crujido en otoño si se

la estruja entre los dedos. O los diferentes sonidos que produce el viento en ellas al moverse unas hojas con otras.

Y junto al mundo sensorial, un niño, antes de comenzar a leer, tiene que aprender bien el infinito mundo motor (conducta) y cognitivo (lo que incluye al habla) con el que se modela en la sociedad y cultura en que vive. Y todo ello acorde con los códigos neuronales que tiene en su cerebro desde el nacimiento. Hago aquí explícito que este proceso implica aprovechar esa conducta que es el juego, ese mecanismo poderoso, inconsciente, que utiliza todo ser vivo («mamífero») y al que el niño recurre para aprender. De hecho, el juego es como un disfraz bajo el cual el niño, con alegría, aprende y memoriza. Y con el juego, y andando el tiempo, se produce la entrada lenta al mundo de los abstractos, las ideas y los conceptos que le conducirán de lleno al aprendizaje de la lectura.

Precisamente, y en relación con el juego, como acabamos de comentar, el niño ya aprende a leer (al menos, permítaseme la licencia de expresarme así, de forma figurada) propiamente en esa etapa de memoria inconsciente que discurre desde el nacimiento hasta los 3 años. Es este un período de tiempo personal dominado, absolutamente, por las emociones inconscientes; emociones (placer y dolor, alegría y tristeza y su infinita cohorte de matices) que son la forma más rápida de poder aprender algo y con la máxima seguridad. Esto último supone aprender de los padres, y particularmente la madre, en el entorno cálido y seguro del hogar. En relación con ello y su potenciación, no me resisto a comentar unos datos muy recientes y que se refieren a ese vínculo emocional entre niño y madre y el registro de la actividad eléctrica cerebral de ambos. Todos sabíamos, o muchos sabíamos, por el acervo universal común, de la reacción emocional positiva que expresa un niño de apenas un año de edad (sonrisa, vocalizaciones, gestos de cara y particularmente ojos y brazos) ante las palabras y el gesto efusivo de la madre cuando esta, por ejemplo, le muestra un juguete nuevo de colores y le dice sonriendo: «¡Pedrito, mira qué bonito es!». Pues bien, como he comentado, algunos estudios muy recientes han ido mucho más allá de la descripción conductual de estas reacciones emocionales que acabo de exponer. Efectivamente, en estudios realizados en la Universidad de Cambridge (Santamaría et al. 2019) con una prueba

similar a la descrita, los investigadores han registrado simultáneamente la actividad eléctrica de la corteza cerebral de bebés de unos 10 meses de edad y la de sus respectivas madres, con la metodología conocida como «electroencefalografía dual o de conectividad neuronal interpersonal». Los resultados mostraron que, en una banda de frecuencias específicas del electroencefalograma, los registros del bebé y la madre presentaron durante la prueba una sincronización de alta intensidad. Es decir, una respuesta cerebral, física, idéntica de expresión emocional. Por el contrario, cuando este experimento se realizó mostrándole esta vez al niño un objeto sin matices de colores y sin formas, y con la madre cariacontecida y diciéndole con un tono de voz triste y de baja intensidad: «¡Pedrito, esto a mí no me gusta!», los registros fueron más planos, y la sincronización, poco significativa. Estos experimentos nos hablan del significado «biológico» del vínculo madre-hijo en esos años, que va mucho más allá del simple y puramente conductual y refuerza, enormemente, el valor de la relación emocional bebé-madre y su importancia en lo referente a los procesos de aprendizaje y memoria. Y es que, efectivamente, en esos primeros tres años de vida, un tiempo claramente alejado de la edad en que propiamente se puede aprender regladamente a leer, que se establece alrededor de los 5 o 6 años, el niño realiza ya conductas (inconscientes) sobre las que se asentarán, tiempo después, las conductas conscientes, incluyendo, en última instancia, la lectura. Estas conductas emocionales inconscientes son los «ladrillos» sobre los que descansará el edificio de la futura conducta consciente del niño. Y, desde luego, muestran el valor que en esos primeros meses y años tienen los padres y, en particular, lo repito de nuevo, el valor específico de la madre en las reacciones emocionales positivas de recompensa y alegría. Y, al contrario, ¿podemos imaginar los «ladrillos» emocionales básicos que puede aportar al cerebro de un niño una madre que sufre serios y continuados episodios de estrés o de angustia, o miedo, o episodios depresivos (reactivos o endógenos), y su posible repercusión en el recableado cerebral (anatómico) de ese niño? ¿Acaso no es posible adelantarnos a pensar en cómo afectarán estos factores en la casi inmediata aparición y aprendizaje del habla y, luego, de la lectura?

En cualquier caso, si todo esto ha sido expuesto en este libro es porque estos cambios cerebrales en el niño bien pudieran influir en su conducta emocional y su futuro social. Y más específicamente, lo reitero, en el aprendizaje de la lectura; de ahí que haya querido dejar constancia de ello. Y es que el aprendizaje de la lectura no solo consiste en descifrar «símbolos» (las letras, las sílabas y las palabras), sino que existen infinitos matices del ambiente que, lentamente, permitirán (o no) decodificar más tarde, con la edad y la madurez cerebral, esos símbolos que, de manera reglada, forman las palabras y hacerlo, lo repito, con alegría, que es el único modo de aprender algo bien. Nadie es consciente —porque no lo recuerda— de la infinidad de veces, y de forma constante y repetida, que, a la edad de un año o un año y medio, comenzamos a prestar atención e interés en casa a nuestra madre o a nuestro padre, cuando, sentados en un sofá y pegados a su regazo, abrían un cuento lleno de colores, pollos, tortugas, casas y árboles y empezábamos a mirarlos y a reconocerlos en los dibujos mientras nos leían. Cosas de las que nunca nadie ha podido guardar luego recuerdo explícito. Pero sí es cierto que esos momentos han quedado en una memoria inconsciente que se considera hoy el basamento con el que, más tarde, se construye el mundo consciente del niño. Y a partir de ahí algunos niños han podido comenzar a reconocer las letras y aprender, de hecho, propiamente a leer. Y es así como alrededor de los 3 años hemos comenzado a evocar el contenido de los libros con dibujos y colores y repetir oralmente, constantemente, esos contenidos. Y también, un poco más adelante, hemos mirado con extrañeza aquellos dibujitos raros que son las palabras y que permitían a nuestro padre leernos los pies de aquellos colores y figuras: «En la granja había muchos animales, árboles con frutas y un lago con patos»; y lo que nuestro padre leía parecía coincidir con el lago, los patos y los árboles que íbamos asociando al verlos representados en los dibujos del libro. Y especialmente relevante en esos «primeros pasos de la lectura» es el valor emocional de la imitación, consecuencia de la simple observación del niño que ve a sus padres leer. Y de modo sobresaliente si la observación se repite todos los días. Un niño de 3 años ve en la repetición de esa conducta cotidiana un rito (como puede serlo el de la comida), es decir, algo importante, algo de valor. Y eso es, precisamente, lo que

representan para un niño los padres (seguridad y salvaguarda), y la razón por la que tantas veces los imita. Por eso algunas veces ocurre —y algunos tenemos experiencia personal de ello— que un padre deja un momento abierto sobre la mesita el libro que está leyendo y al volver se encuentra al niño sentado con ese mismo libro abierto, en las manos, y verbalizando: «Piti... piti... piti... piti...». Y cuando el padre pregunta: «Pero ¿qué haces?», el niño contesta: «¡Pues leyendo…!». Sin duda, todo esto conforma lo que, en el cerebro emocional del niño, es parte de esa fase preparatoria con la que acunará sus lecturas el resto de su vida. Y aquí cobra pleno sentido aquella frase de D'Amicis, ya citada al inicio del libro, de que «el destino de muchos hombres ha dependido de que en su casa paterna haya habido o no una biblioteca». Y así alcanza el niño ese tiempo y edad en que, en el colegio, comienza propiamente y de forma reglada a leer.

En cualquier caso, aprender regladamente a leer conlleva un largo proceso de disección y análisis que va de la letra a la sílaba y de esta a la palabra (en su maridaje forma-sonido o grafema-fonema) y su significado (semántica). A ello le sigue el aprendizaje de la estructura sintáctica de la frase y su nuevo significado. Recordemos a este respecto el ejemplo ya referido en el que, utilizando las mismas palabras pero en orden diferente, cambia el significado de la frase. No es igual la frase «el perro mordió al caballo» que «el caballo mordió al perro», o, para el mismo caso, «Ana regala su cuento a Julia» que «Julia regala su cuento a Ana». Más tarde se adquieren la prosodia, los significados emocionales de un largo párrafo y la comprensión de un texto, lo que incluye el estudio y aprendizaje de los significados de metáforas, inferencias, eufemismos, etc., de los que ya hemos hablado en el capítulo anterior («De la palabra a la frase y de esta al texto y su comprensión»). Y finalmente el aprendizaje se adentra en el complejo mundo de la gramática que, según la RAE (Real Academia Española), «es la parte de la lingüística que estudia los elementos de una lengua, así como la forma en la que todos estos elementos se organizan y se combinan». En este último nivel de aprendizaje los niños deben ser capaces de enlazar frases y párrafos y adquirir una representación del significado global de ese texto. Algunas teorías o modelos afirman que todos estos pasos son, en cierta medida, independientes y secuenciales, mientras que

otros los consideran casi completamente interactivos. Independientemente de ello, el fallo en cualquiera de estos niveles derivará en una lectura pobre y, por ende, en una comprensión deficiente de lo que se lee. Hoy, con los considerables avances de la neurociencia cognitiva, se ha dado un gran paso para conocer mejor cuanto acabo de señalar.

Según Dehaene (2009), la adquisición de la lectura, aprender a leer, tiene tres fases principales. La primera, que es la de las imágenes, es un período breve en el que los niños «fotografían» unas pocas palabras, lo que puede potenciarse utilizando los cuadernos de caligrafía. La segunda etapa es la «fonológica»: en ella el niño aprende a decodificar los grafemas y convertirlos en fonemas, es decir, convertir lo escrito en «sonidos» (etapa que corre en paralelo con la primera). Y la tercera (mucho más adelante) es la «ortográfica», que consiste en el reconocimiento de las palabras correctamente escritas y que, con el tiempo, se realiza ya de un modo rápido y automático. En la mayoría de los países, el comienzo reglado del aprendizaje de la lectura en los colegios tiene lugar en torno a los 6 años de edad, que es cuando el niño ya domina de un modo inconsciente la configuración básica de su lengua materna, en relación tanto con un vocabulario relativamente rico (léxico) como con la estructura gramatical básica del lenguaje (sintaxis y significados-semántica). Y esto último es importante, ya que este vocabulario y estas estructuras gramaticales tienen su sustrato cerebral en las redes neuronales del lenguaje, que más tarde serán las utilizadas para la palabra escrita. Es claro que un niño de 6 años, y más todavía de 7, aprende con rapidez que las palabras «escritas» representan lo mismo que las palabras «habladas», y por tanto que las palabras escritas se corresponden con sonidos. Y esta relación ya comienza con la representación de las letras (aun en los tiempos más tempranos), cuando, por ejemplo, el maestro, escribiendo en la pizarra la letra «a», o mostrándola en una pequeña tablilla coloreada, ya indica con su propia voz que este dibujo (que se asemeja a un redondel con «rabito» hacia la derecha) es la letra «a» y se pronuncia «a» (sonido). Y luego, con el tiempo, y tras las vocales, se aprende que el «redondelito» con «palito hacia abajo y a la izquierda» es la letra «p» (sonido). Y que cuando la letra «p» va seguida de la letra «a» se crea la sílaba «pa» (sonido).

Hoy en día, inmersos en los medios modernos de comunicación, juegos de ordenador, teléfonos inteligentes, mensajes de texto, correos electrónicos y diversas redes sociales, para muchos niños no existe realmente gran diferencia entre la palabra hablada y la palabra escrita. Por ello son muchos y diversos los métodos reglados (y también no reglados, que serán comentados al final del capítulo) que utilizan los colegios para enseñar a leer. Métodos con sus características y matices propios en el día a día del aprendizaje de la lectura en cada colegio. Echaremos un rápido vistazo a varios procedimientos de enseñanza que se han utilizado. Por ejemplo, un método clásico, aplicado frecuentemente en muchos colegios, es el que consiste en iniciar la lectura, curiosamente, no «leyendo» sino «escribiendo» (lectoescritura). Alrededor de los 5 años los niños empezaban a calcar en cuadernos de caligrafía páginas y más páginas de «palotes» en diversas direcciones. Posteriormente se pasaba a calcar los redondeles. A partir de ahí los palos se cruzaban en forma de cruz o de aspa. Un paso posterior era el del calco de las vocales y, después, el de algunas consonantes («m», «p», «t»...) (plantillas de letras). A ello seguía una fase en la que ya las letras se copiaban. Es decir, se comenzaba a escribir las letras sin calcarlas de una plantilla. Simultáneamente, a la vez que el niño las escribía (grafema), el maestro o la monja, para el caso, le repetía el correspondiente sonido de cada letra (fonema), con lo que se creaba esa relación, tan importante, entre lo escrito y su sonido (grafema-fonema). Y así, paso a paso, en períodos largos pero secuenciados, llegaba el momento inicial de la lectura en sentido estricto, cuando al niño se le enseñaba a unir letras y formar sílabas, casi siempre comenzando con las letras «eme» o «pe» («ma»-«me»-«mi»-«mo»-«mu», «pa»-«pe»-«pi»-«po»-«pu»). Y, de este modo, uniendo sílabas —la «ma» con la «ma» («mamá»), la «pa» con la «pa» («papá»)—, se creaban las palabras. Palabras que, además, a veces tenían una resonancia emocional importante, familiar: «Ya veréis la gran alegría que mamá y papá tendrán al ver que ya sabéis leer (y a la vez escribir) “mamá” y “papá”». Finalmente venía el hito trascendental de la oración. ¡El niño ya puede leer una frase! Como la clásica «mi ma-má me a-ma». Y así se alcanzaba esa «consciencia» luminosa del niño, esos momentos cognitivamente cumbres en que el niño ya «sabía leer».

En generaciones posteriores (la de los padres de los niños que ahora inician su lectura) se recurrió a un método en el que no se realizaba el entrenamiento caligráfico previo de calco y copia de letras. El proceso se iniciaba directamente asociando sonido y escritura. Se escribían y repetían, oralmente, y de modo sucesivo, páginas de columnas primero con las vocales y después con las primeras consonantes, las más sencillas y sonoras. Se repetía hasta que el niño asociaba cada letra con su sonido (grafema-fonema). A partir de ahí, el método podía ser superpuesto al descrito anteriormente.

En muchos métodos actuales de enseñanza reglada de la lectura y sus detalles de aplicación, la fonología, el sonido de las letras, se considera el verdadero actor principal junto con el juego. Para iniciar a los niños en el aprendizaje de la lectura, en muchas escuelas efectivamente «se comienza a leer» (sin hacerles explícitamente partícipes de ello ni tampoco hablar de letras como tales) muy temprano, alrededor de los 3 o 4 años, jugando. Por ejemplo, se le muestra al niño un objeto o un animal de juguete (o se le pide el nombre de un objeto o un animal o que lo escoja entre varios), por ejemplo, un elefante, se le dice que el sonido de «elefante» comienza así: «e-e-e-e-e-e», y se le pide que lo repita. Y así con palabras que representen otros animales u objetos conocidos y que empiecen con vocales (ardilla), «a-a-a-a-a-a», o consonantes (mesa), «m-m-m-m-m-m». Tiempo después se recurre a un juego en el que las letras, escritas y pegadas de modo que queden en relieve y sobresalgan, están individualizadas en pequeñas fichas de colores. Al niño le resulta así más fácil aprender y seguir por el relieve la forma de la letra (principio de la escritura). De modo que al niño, cuando va a oír y repetir la «e-e-e-e-e-e» (de elefante), se le entrega la correspondiente ficha y se le pide que pase el dedo índice por la letra que sobresale y la redibuje. Y es así como, con la fonología primero (fonema) y con la letra escrita después (grafema), el niño aprende los principios elementales de la relación (grafema-fonema) en que se sustenta la lectura.

Los niños, impulsados por la curiosidad y, a veces, por la necesidad, aprenden así la importancia de lo «sonoro», la fonética, para entender y grabar bien lo que se lee y se escribe. La fonética, reitero, potencia el aprendizaje de lo que el maestro escribe en la pizarra y hace repetir al niño

con la escritura. De hecho, tras conocer las letras y su asociación con los sonidos (fonología), los niños comienzan a utilizar algunas de ellas, por ejemplo las vocales, como muletas fonéticas en las que se apoyan, junto con las consonantes después, para empezar a descifrar las palabras. Y con el tiempo van aumentando la velocidad de acoplamiento o maridaje de forma (letra) y sonido de la letra (pronunciación) (grafema-fonema) para acelerar, a su vez, la creación de la palabra completa. Y es ya mucho tiempo después cuando, de manera lenta, progresan la velocidad y la fluidez de la lectura, a las que se unen la prosodia (pronunciación, acentuación correcta y entonación) y el contenido emocional de un texto. En cualquier caso, y en lo referente a la fluidez de la lectura, algunos todavía recordamos el período en que, cuando ya se sabía leer correctamente, los maestros, utilizando de nuevo el juego (que, como ya hemos dicho antes, es un proceso de aprendizaje disfrazado de alegría) y aprovechándose de él, refinaban la amplitud de vocabulario y la propia velocidad en la lectura, además de aguzar el ingenio de los niños por medio del uso de anagramas y palíndromos. A los niños les resultaba así divertido aprender los anagramas y ver cómo al cambiar el orden de las letras o las sílabas de una palabra se obtenía otra distinta, por ejemplo: «toga-gato». O la palabra resultante de un cambio en el orden de las letras, como «amor-roma». Y más adelante «jugar» con los palíndromos y descubrir que una palabra o frase se lee igual hacia delante que hacia atrás, como por ejemplo «ojo ←→ ojo», o la «clásica» «dábale arroz a la zorra el abad» ←→ «dábale arroz a la zorra el abad». Sin duda, en este camino, entre las fases o etapas que se suceden desde que se inicia la lectura de la palabra y su comprensión hasta que se adquiere fluidez en la lectura de un texto, puede haber fallos que enlentezcan su progreso. Precisamente, la fonología es uno de ellos. Y es, por eso, una vez más, por lo que me gustaría profundizar en ello.

Todos comprendemos bien lo que quiere decir «conciencia fonológica», pues la experimentamos cada vez que ante la dificultad de leer ciertas palabras escritas tendemos a deletrearlas despacio pronunciándolas, bien abiertamente, con el lenguaje explícito (oral, sonoro), o bien solo mentalmente. Es más, todo lector puede ser consciente de que, al leer, las palabras «resuenan» (sin sonido físico) en su cabeza («sonidos mentales»).

En cualquier caso, la fonología, el sonido de las letras, es lo que ayuda a los niños, de manera sobresaliente, a descubrir las bases del alfabeto. Y esto, la fonología, es un proceso que ya se desarrolla antes de comenzar a leer y con el lenguaje oral al discriminar los sonidos de las palabras. En el propio lenguaje oral, cuando el padre, por ejemplo, le regala al niño de unos 3 años un juguete nuevo («Lego») y le dice rápidamente el nombre del juguete, o de uno de sus componentes, el hijo se vuelve con cara de incomprensión y el padre le repite, sílaba a sílaba, de modo pausado y con las entonaciones correspondientes, las sílabas que componen la nueva palabra («Le»-«go»). Esta capacidad discriminativa de la información sonora se desarrolla en un niño normal entre los 2 y los 6 años (con una aceleración entre los 3 y los 5).

Esta progresión de las habilidades fonológicas equivale, en su esencia, a su progresión en la capacidad de distinguir entre sonidos muy próximos o similares (desde el canto de ciertos pájaros hasta ruidos varios y múltiples de la naturaleza). Hay niños, por ejemplo, que muestran una alta capacidad para distinguir, desde muy temprano, sonidos similares, como «ba», «pa» o «da», mientras que otros no pueden hacerlo o les resulta muy difícil y tardan mucho en poder aprender esta diferencia. Las capacidades de un niño para distinguir «ba» de «pa» y otros fonemas con cierta semejanza sonora son, precisamente, signos que predicen con qué facilidad o dificultad va a progresar su aprendizaje de la lectura (con mayor o menor esfuerzo y rapidez o lentitud). Evidentemente, esto tiene que ver con el desarrollo y la madurez de las áreas cerebrales responsables de esta decodificación.

Hoy, la neurociencia nos enseña que cada una de estas áreas (principalmente el territorio de Wernicke) tiene tiempos diferentes de desarrollo y maduración (que pueden variar en cada niño) tanto para la organización neuronal-sináptica como para la mielinización de los axones de estas neuronas y, con ello, para la eficiencia de las vías de interconexión entre ellas (lo que está vinculado a la velocidad y eficiencia de su funcionamiento). También que esas áreas (AB39, giro angular y AB40, giro supramarginal más específicamente) no terminan de mielinizarse en la mayoría de los niños hasta los 5-6 años, un proceso que en todos, salvo disfunciones cerebrales, está completado ya a los 7 años. Es de suma

importancia tener en cuenta que estas áreas son las responsables de la decodificación de los aspectos visuales de las palabras en sonidos (grafema-fonema), y también de su significado (semántica), si se quiere evitar el sufrimiento en algunos niños de 4 o 5 años a los que se intenta enseñar a leer regladamente y cuyos territorios neuronales aún están terminando de madurar. La lectura a esa edad, antes de tiempo, puede convertirse en un martirio y una fuente de desazón y tristeza para la mayoría de los niños y, en consecuencia, también para los padres y maestros.

Con todo, nunca hay que olvidar que cada niño es un ser único, diferente, como único y diferente es su cerebro. Cada niño posee características sociológicas, emocionales y cognitivas tan particulares que en realidad la enseñanza debería realizarse de forma individual y adaptarse a ellas. Y es verdad que hay casos extraordinarios de niños capaces de aprender a leer solos y a edades tan tempranas como los 4 años, y algunos incluso antes. Ahí está, por ejemplo, el caso de John Stuart Mill (1806-1873), quien, al parecer, y aparte de su propia lengua, el inglés, comenzó el aprendizaje del griego clásico (antiguo) con 3 años —y a los 7 ya había leído a algunos autores en esa lengua— para muy poco después comenzar con el aprendizaje del latín. De ahí la importancia de la individualidad, que puede distorsionar la marcha de la lectura en una clase de primaria en los colegios. En la actualidad ya hay colegios en los que los niños comienzan a leer según su disposición personal (motivación, emoción y curiosidad) y sus capacidades para hacerlo, lo que, sin duda, es la situación ideal. En todo caso, y de no ser tal la situación, lo aconsejable es iniciarlo a partir de los 7 años, edad en la que, casi seguro, las áreas cerebrales base de la lectura están en todos los niños lo suficientemente desarrolladas y maduras para captar en todo su sentido y emoción la tarea de comenzar a leer. Precisamente esa es la edad en la que se empieza a aprender a leer en ese país tan avanzado en la enseñanza que es Finlandia. Allí, de hecho, se comienza con la enseñanza de la lectura reglada y con profesores cuando «los niños están preparados para ello», dado que las clases no están separadas por edad y los alumnos se distribuyen en un rango de edades amplio que supone que unos están algo más avanzados que otros. Esto les permite, además, interaccionar y aprender unos de otros. Hay incluso casos

de personas, a cualquier edad más allá de los 6 o 7 años, o para el caso la edad adulta, que han aprendido a escribir y leer solas mediante programas informáticos específicos o buscando lenta y pausadamente identidades y repeticiones de las palabras escritas con su sonido. Un ejemplo de este caso que ha quedado plasmado en la gran pantalla es el que muestra la película *El lector*, en que la protagonista aprende sola a leer en la edad adulta «casando» imágenes (letras y palabras) con audios de libros. A ello contribuye el magnífico trabajo de la actriz Kate Winslet, expresado en sufrimiento, alegría, llanto y trabajo.

Pero hay algo más que comentar al respecto. Y es que no deja de ser sorprendente el hecho, claramente constatado y real, de que existan colegios, denominados «escuelas o colegios democráticos», en los que a los niños no se les enseña regladamente a leer, sino que cada alumno aprende a hacerlo solo, por sí mismo, cuando «está motivado», es decir, cuando ve la «necesidad de ello» en función de su desarrollo personal en el colegio y su relación con los demás compañeros. Se trata de centros pedagógicos «libres». El primero de ellos se fundó en 1921, en Alemania, en Hellerau, un suburbio de Dresde, con el nombre de *Neue Schule* (“Nueva escuela”). Más tarde aparecieron otras escuelas, primero en Austria (1927) y después en Inglaterra. Bastante más tarde, ya en 1968, se fundó en Framingham, Massachusetts (EE.UU.), la Sudbury Valley School. Actualmente existen colegios en muchos otros países que siguen el modelo de estos centros pedagógicos (libres o democráticos). En Europa (incluida España) se agrupan en una red (Eudec). En estos colegios no hay clases regladas de lectura, sino que cada niño toma sus propias decisiones y aprende a leer y escribir «solo» (acabo de señalarlo) y cuando él personalmente lo decide. De modo que, repito, ni hay edad para aprender a leer ni este aprendizaje tiene por qué realizarse en una clase con profesores. De hecho se ha podido comprobar que hay niños que comienzan a leer a los 4, 5, 6, 7, 8 e incluso a los 9 o 10 años. A menudo los alumnos se interesan por la escritura a la vez que por la lectura y aprenden ambas tareas simultáneamente. Los alumnos de estas escuelas conviven con compañeros de diferentes edades a los que preguntan aspectos puntuales que puedan necesitar resolver. Son colegios en los que unos aprenden de otros porque todos viven en constante

interacción, independientemente de la edad, que oscila entre los 4 y los 16 años (Europa) y los 4 y 18 años (modelos Sudbury). Por supuesto, en estos colegios también hay instructores que, cuando un alumno lo requiere, están en disposición de prestar la ayuda solicitada. La norma que rige es que el niño no sea nunca persuadido de aprender a leer contra su voluntad.

Todo esto pone en evidencia, realmente, la versatilidad en el aprendizaje de la lectura y, desde luego, la enorme plasticidad que posee el cerebro del niño y su interacción con el medio que lo rodea (familiar, social y cultural) y su dependencia de él. Capítulo este, el del aprendizaje de la lectura, sin duda abierto al propio devenir del ser humano y su impredecible futuro.

11

CON UN LIBRO ENTRE LAS MANOS:

Leyendo con fluidez

Leer con fluidez, con facilidad, sin esfuerzo, requiere un largo proceso de entrenamiento y aprendizaje. Leer con fluidez significa leer rápido, y con precisión, no solo las palabras y las frases sino el texto global, lo que incluye la prosodia y el colorido emocional, metáforas, inferencias, ambigüedades, y captar el significado completo del relato. Lograr el máximo de esa fluidez, que puede significar ser capaz de leer y entresacar las «esencias inteligentes» de un libro de cientos de páginas en solo un fin de semana, requiere muchos más considerandos que el «simple y coloquial proceso» que conocemos como entrenamiento (leer mucho). Requiere la participación de varios ingredientes cognitivos que van desde la emoción (inconsciente) y el sentimiento (emoción consciente) hasta la rapidez del cambio en el foco atencional y la memoria ejecutiva con tal nivel de eficiencia que durante la lectura apenas aparece el cansancio o la fatiga. Todo esto exige un punto máximo de «entrenamiento complejo» capaz de convertir casi todo el desarrollo de la lectura en un proceso fundamentalmente automático, inconsciente, como ocurre por ejemplo con el manejo de un coche por un buen conductor. Y del mismo modo que un buen conductor solo es consciente de la dirección que lleva, un buen lector solo es consciente del significado de lo que lee. Y es con el hábito de la lectura, el amor y la emoción por ella, y la progresión desde una cadencia lenta hacia un ritmo rápido (acortamiento de los tiempos atencionales y procesamiento de las letras, palabras, ortografía, fonología, sintaxis y semántica) como la lectura alcanza ese máximo de fluidez.

Un libro es un bosque de símbolos por descifrar, y la lectura es el mecanismo básico que lo convierte en luz, emoción y sentido. Leer un libro significa muchas cosas. Infinitas cosas. Leer es entrar en mundos diferentes, tantas veces imaginarios, en ensoñaciones y mentiras, pero también acceder a verdades contrastadas que muchas personas incorporan a su propio acervo cultural. Leer es un diálogo entre el mundo descrito en lo que se lee y la referencia constante al propio mundo personal. Leer es aprender, memorizar, conocer, emocionarse, y también descubrir belleza. Pero para todo esto se requiere leer con facilidad, sin esfuerzo, con esa mirada rápida que corre zigzagueante entre las líneas de las páginas del libro. Y eso solo se consigue tras un largo y perseguido entrenamiento. Cuando se alcanza

ese punto, leer se convierte en un ejercicio verdaderamente placentero, como bien pudiera serlo correr entre prados y montañas sin sentir fatiga.

La pregunta ahora es: ¿qué hay detrás de este entrenamiento que permite alcanzar esa fluidez? ¿Qué es, de hecho, leer con fluidez? ¿Qué sabemos de los mecanismos cerebrales que lo determinan? Sin duda una respuesta genérica haría referencia al acortamiento de los procesos neurales que concurren en la lectura misma. Es decir, el acortamiento en milésimas de segundo que podría ocurrir repetidamente durante el ensamblaje de las letras para construir una palabra. Y, también, en los procesos léxico-semánticos. Pero aquí vamos a explorar ahora otros territorios cognitivos que, sin duda, también inciden, y de manera más aparente, en este terreno de la fluidez de la lectura. Leer con fluidez significa leer rápido y con precisión no solo las palabras y las frases, sino el texto en sí, con la prosodia y su colorido emocional, metáforas, inferencias y ambigüedades, y captar con todo ello su significado completo. Todo esto supone llegar a lograr un punto de entrenamiento en el que leer en sí mismo se convierta en un proceso fundamentalmente automático (inconsciente), como puede ser para una persona con experiencia conducir un coche. La conducción de un coche es un buen símil, yo creo, para entender mejor el funcionamiento de las memorias de hábito de la lectura. Efectivamente, la conjunción de embrague, acelerador, freno, volante y, particularmente, marchas (primera-segunda-tercera-cuarta-quinta) serviría para entender que el hábito de la lectura opera del mismo modo en la secuencia «letra-sílaba-palabra-frase-texto», pues en ambos casos se trata de un proceso que, si se ha aprendido bien previamente, paso a paso y de modo consciente, termina convirtiéndose en una conducta inconsciente. Y, en ambos casos también, y al final de la secuencia, solo se es verdaderamente consciente del destino (en el caso de la conducción del coche) y de los significados (en la lectura de un texto). Lo cierto es que en esta secuencia de eventos intervienen partes del cerebro que están alejadas de las estructuras neurales base del propio proceso de la lectura, como los ganglios basales y el cerebelo, que son los que albergan circuitos neuronales que codifican para los programas motores inconscientes en general, y también para los procesos del propio lenguaje en particular. Esto permite entender que el foco atencional de la

mente consciente del lector, al final, se centre solo en alcanzar ese objetivo que es, sin recalar en las letras y ni tan siquiera en las palabras o la sintaxis, el significado de lo que se lee.

Y es que ser consciente de algo requiere mucho tiempo. La consciencia (tomar conciencia, «saber» de algo) es un mecanismo neuronal que precisa un tiempo «largo» de procesamiento, comparado con el tiempo mucho más «corto» requerido para los mecanismos neuronales inconscientes. Precisamente la conducta de todo ser vivo se realiza mayoritariamente en tiempos «cortos», inconscientes, desde los reflejos hasta las reacciones emocionales, pues son los tiempos que codifican para mantener la supervivencia del individuo. En general, este es un hecho biológico universal. Los procesos cognitivos que requieren un tiempo largo de aprendizaje (atención y consciencia), como es en nuestro caso el de las letras, las sílabas, las palabras, las frases y, más allá, los textos, cuando se ha alcanzado la lectura fluida, se han reconvertido en procesos inconscientes, de modo que solo queda como esencia de todo ello la conciencia de los significados. Son pasos que desembocan en los llamados «procesos de hábito» (inconscientes). Y eso es lo que explica que haya personas (algunos editores y muchos ávidos lectores) capaces de leer una obra de 800 páginas en muy poco tiempo. Podríamos compararlo con hablar la lengua materna frente a un idioma nuevo que se está aprendiendo. Eso, en otras palabras, es lo que significa leer con fluidez.

Leer con fluidez es, por tanto, un proceso que se adquiere con el hábito de la lectura, lo que, de hecho, significa un acortamiento del tiempo dedicado a ello. A ello contribuye también, como factor importante, el hecho de haber aprendido bien, desde el principio, el componente fonológico de lo que se lee; primero el de las letras (vocales y consonantes), después el de las sílabas y finalmente el de las palabras propiamente dichas, es decir, la «decodificación» grafema-fonema. Precisamente en los niños esta «decodificación» se ha considerado un gran predictor de la posterior fluidez de un futuro buen lector. De hecho, los problemas de lectura que presenta un niño con dificultades arrancan, en su mayoría, de un déficit en la fonología; ya lo hemos apuntado varias veces a lo largo de este libro. A ello hay que añadir que la fluidez de un lector bien entrenado (rapidez y

precisión de lo leído) tiene su base en un despertar emocional importante, una alta capacidad de concentración, un menor tiempo destinado a la atención ejecutiva y una mayor eficiencia de la memoria de trabajo. En resumen, un lector fluido es aquel capaz de comprender el significado conceptual global y el significado emocional de una frase o un texto en un muy corto espacio de tiempo. Con todo, hay siempre personas que, aun con un buen entrenamiento inicial, no han llegado a ser buenos lectores, lectores fluidos, debido a una miríada de factores, entre los que destacan los problemas de la atención y, sobre todo (lo reitero), los emocionales. Todo esto justifica muchas veces una intervención temprana, particularmente en niños con déficits fonológicos, sobre todo si se trata de un déficit muy leve, pues sin duda permitiría una resolución rápida del problema. Esto es importante, además, porque no solo repercute en las evaluaciones del niño en el colegio, sino en la apreciación que él hace de su propio progreso, en su repercusión emocional y, desde luego, en sus futuras capacidades profesionales.

La fluidez en la lectura, como venimos analizando, es un capítulo muy complejo; por eso ayudaría repasar aquí los mecanismos cerebrales más importantes que se conocen y le dan soporte, sin dejar de reconocer que este es un tema todavía abierto y, en cierta medida, especulativo. La primera consideración se refiere a la atención, debido a que el procesamiento atencional en la lectura puede reducirse considerablemente con el entrenamiento. Ya dijimos que la atención (en su base neurobiológica) es un proceso singular, único, que, como un fogonazo, se sigue de otro, y este de otro, y así sucesivamente en el tiempo. Algo así como fotografías estáticas pero seguidas unas de otras de una forma dinámica, en secuencia. Fotografías que, luego, seriadas, como los fotogramas estáticos de una película, dan lugar a la sensación de continuidad (sin intermedios) del proceso. Foco atencional singular cuya duración, dependiendo, precisamente, del entrenamiento, oscila entre 60 y 250 milésimas de segundo. Es evidente que si el foco atencional individual seriado para cada palabra logra realizarse en el menor tiempo posible (como son 60 milésimas de segundo frente a 250), esto supondría un extraordinario ahorro de tiempo para la lectura. Por otra parte, es altamente posible que el desarrollo de la

secuencia de interacción neurofisiológica del procesamiento de la lectura (ortografía, fonología, sintaxis y semántica) que hemos señalado en capítulos anteriores (véase figura 8), y que podría situarse en una horquilla de 200 o 300 milésimas de segundo, también pudiera acortarse de modo significativo con el entrenamiento. Estas dos consideraciones (el procesamiento atencional y la interacción neurofuncional entre las diferentes redes cerebrales que codifican para la lectura) indicarían un posible acortamiento temporal en su procesamiento.

Como fundamento de lo que acabo de señalar, quisiera describir, ahora, de modo muy breve, algunos estudios realizados utilizando resonancia magnética funcional que muestran cambios funcionales en los territorios del lenguaje y la lectura que, añadidos a estas consideraciones, ayudarían a comprender mejor la fluidez de esta misma lectura. Uno de ellos consistió en pedir a un grupo de personas adultas, en varias sesiones repartidas en el tiempo, que en cada sesión leyeran, de modo repetido, tres veces, series de la misma palabra (por ejemplo, mano-mano-mano, ojo-ojo-ojo). A otro grupo (de las mismas características biográficas), por el contrario, se le pidió que hiciera lo mismo (leer tres veces series de tres palabras) pero con palabras siempre diferentes (por ejemplo, lápiz-jarra-reloj, madera-hierro-barro). En paralelo se fue midiendo, en cada sesión, el tiempo medio que llevaba leer (vocalizando) las palabras. Tras varias sesiones aplicando esta prueba, los resultados mostraron que el grupo de personas que leyeron las series de la misma palabra de modo repetido y en todas las sesiones lo hicieron en menos tiempo que los que leyeron la sucesión de palabras diferentes. Estos datos fueron, luego, cotejados con los registros con resonancia magnética realizados a cada persona, y en aquellas que repitieron las mismas palabras a lo largo de la prueba se detectó una disminución de la actividad neuronal del territorio de Broca, y más específicamente en el giro frontal inferior (AB47) (semántica), y del territorio de Wernicke, particularmente en el giro supramarginal (AB40) (grafema-fonema), lo que no le ocurrió al grupo que en cada sesión leyó siempre palabras nuevas y distintas. También, pero en este caso en ambos grupos, se constató una disminución de la actividad neuronal de las áreas motoras suplementarias y el cerebelo del hemisferio izquierdo,

presumiblemente como consecuencia, no específica, de la vocalización —acto motor— de las palabras. Estas disminuciones en la actividad de los territorios de Broca y de Wernicke y en las demás áreas antes mencionadas han sido interpretadas como la respuesta a un reensamblaje sináptico en estos circuitos neuronales que, en consecuencia, muestran una mayor eficiencia en su funcionamiento. Extrapolando otra interpretación posible más general, y en relación con la fluidez de la lectura, cabría pensar que, dado que en todo texto o libro hay una repetición constante de las mismas palabras (valgan de ejemplo «más», «por tanto», «sin embargo»), esta repetición también podría contribuir a ese fenómeno, más que evidente, que demuestra que quien lee mucho lee cada vez más eficientemente; es decir, lee más deprisa (fluidez), lo que justificaría, de alguna forma, los resultados.

Otros diseños experimentales (Norton y Wolf 2012), también utilizando resonancia magnética de las áreas base de la lectura, han corroborado estos hallazgos. En concreto, en el estudio de Norton y Wolf, realizado en niños y adolescentes (entre los 5 y los 15 años) durante su etapa de aprendizaje y progresión en la fluidez de la lectura, se midió el tiempo empleado en la lectura de una serie de palabras, el tiempo de intervalo entre palabras y la rapidez del nombramiento por la voz de objetos, colores, letras o números que se les fueron presentando en la pantalla de un ordenador y que eran familiares o conocidos para ellos. El progreso o mejora en el tiempo empleado, independientemente de la edad de los niños, estaba correlacionado con un descenso en el volumen del territorio de Wernicke, el giro angular (AB39) y el giro supramarginal (AB40). Y este mismo fenómeno se detectó en la región frontal inferior, AB47 (territorio de Broca), principalmente del hemicerebro izquierdo. Datos, como vemos, muy en consonancia con los que acabo de describir para el estudio anterior. Como ya también apuntamos, el descenso de volumen de estas áreas bien pudiera atribuirse a una reducción y reajuste en las redes sinápticas, haciendo, con ello, más eficiente este proceso. Los resultados prácticos de todo esto permitirían, eventualmente, seguir el progreso en la lectura de niños o adultos no alfabetizados a través de la medida de los sustratos neuronales que le dan soporte, con la consiguiente ventaja de poder

instaurar, en un niño con dificultades, posibles intervenciones tempranas que lo mejoren o solucionen.

12
¿CÓMO LEE UNA PERSONA QUE NO VE?
«Recableando» el cerebro

Louis Braille, invidente, fue la persona que universalizó el método de lectura para personas ciegas que lleva su nombre. En 1952, cien años después de su muerte a los 43 años, su enorme contribución a la humanidad fue reconocida de modo definitivo al ser trasladados sus restos al Panteón de Hombres Ilustres de París. Millones de seres humanos se han aprovechado del método Braille para abrir su mente a ese nuevo mundo de la lectura. Este capítulo trata de contestar una pregunta tan elemental como ¿qué caminos cerebrales ha tomado la lectura en las personas que no ven para captar, a través del tacto, el significado de las palabras? Detrás de esta simple pregunta hay una larga historia de equívocos y hallazgos. Haciendo corta la contestación, se puede decir que desde los receptores táctiles del dedo índice o medio de la mano («dedo lector»), la información es primero procesada por el área somatosensorial I de la corteza cerebral izquierda (o derecha, en el caso de ser un lector zurdo). Desde aquí la información alcanza la parte más posterior de la corteza parietal para proseguir, después, por las áreas visuales de la corteza occipital. Como hipótesis, se ha propuesto que la información procedente de las áreas parietales (cuya función está relacionada con el tacto y la convergencia tacto-visión) es transferida a las áreas visuales de la corteza occipital, en donde se construyen las letras de forma similar a la construcción visual de puntos, líneas y ángulos muy pequeños (curvas), pero esta vez a través de códigos táctiles. Y también, como en las personas que ven, este procesamiento de las letras pasaría a la VWFA para la construcción y ortografía de las palabras. Todo ello, evidentemente, produciendo los correspondientes cambios plásticos neuronales durante el aprendizaje de la lectura.

El reconocimiento de las palabras, desde el mismo origen de la lectura, es visual. Sin embargo, todos sabemos que una persona ciega de nacimiento puede aprender a leer utilizando el sentido del tacto. ¿Cómo es posible que una persona que no ve pueda construir las palabras por otra vía sensorial, la del tacto, tan diferente a la suya natural, la visión, y llegar a ser consciente de su significado? ¿Qué mundo sensorial, qué significados, comparados con los que capta un vidente, puede llegar a percibir un ciego de nacimiento cuando lee con el tacto textos como el que dice: «Y así alcanzó el mar y pudo oír y sentir por primera vez ese brusco rugido de las olas cuando golpean las rocas de la costa», o también: «Y a lo lejos, el blanco de la nieve, la pradera verde y el lago de aguas calmas y azules»? Algunas de las

respuestas a estas preguntas se encuentran en lo versátil, complejo y hermoso del funcionamiento del cerebro y sus enormes capacidades potenciales plásticas.

Los ciegos, sean de nacimiento (sin experiencia alguna en su vida de la luz) o que hayan sufrido una pérdida muy temprana de la visión —es decir, que aun habiendo tenido cierta exposición a la luz, e incluso siendo conscientes de esta experiencia, nunca hayan podido tener percepciones visuales ni memoria visual del mundo (formas, colores)—, pueden aprender a leer por el tacto utilizando ese método universal ideado por Louis Braille (1802-1852). De modo que, siendo la lectura un proceso sensorial claramente visual, ha sido transformado en proceso sensorial táctil, y como veremos luego, con una eficiencia y fluidez muy similares a las alcanzadas (velocidad en el número de palabras leídas por minuto) por las personas que ven y están altamente entrenadas.

La historia de Louis Braille no deja de ser interesante. Haciendo ahora un inciso, me permito trazar, de forma muy breve, algunas pinceladas de su vida. Louis Braille perdió la visión a los 3 años, y a los 10 ingresó en el Instituto Nacional para jóvenes ciegos de París, en donde los niños aprendían un oficio sencillo y acomodado a su situación de invidentes. En una ocasión, durante su estancia en el Instituto, fue a visitarlos Nicolas Marie Charles Barbier de la Serre (1767-1841), quien les habló de un método inventado por él para fines militares (mensajes codificados) y con el que se podía escribir y luego leer por el tacto. El método de Barbier consistía en grabar con un buril sobre una plancha puntos que podían ser detectados perfectamente con la punta de los dedos. Y con estos puntos, y con el orden en que fueron grabados, creó un código de letras con el que se podían leer palabras (lenguaje codificado sencillo). Tras la visita de Charles Barbier, el director del centro le pidió a Braille que examinara esta técnica de lectoescritura táctil y comprobara su posible aplicación, más generalizada, en los niños ciegos del Instituto. Con el tiempo Braille no solo comprobó la enorme potencialidad del método, sino que, además, lo simplificó y de alguna manera lo reinventó, convirtiéndolo en el sistema de lectura para invidentes hoy universalmente aceptado. Braille aplicó su método al alfabeto, a los números y a la notación musical, y es además

interesante reseñar que se ha considerado que su sistema precedió a la propia aparición de la informática (sistema binario). Como todo, la práctica del método Braille de lectura para invidentes no fue adoptada de forma inmediata por todo el mundo, e incluso llegó a ser vetada en algunas instituciones (fenómeno este último que alentó su aprendizaje —a escondidas— por parte de muchos estudiantes, tras descubrirse y extenderse la facilidad de su uso no solo para leer, sino también para escribir textos). El método Braille se publicó por primera vez en 1829 y fue aceptado oficialmente en 1854, dos años después de la muerte de su creador, acaecida cuando tenía 43 años. En 1878 el Congreso Internacional de París lo aprobó como sistema universal de enseñanza para invidentes. En el centenario de su muerte, 1952, su enorme contribución fue definitivamente reconocida, y sus restos, trasladados al Panteón de Hombres Ilustres de París.

La pregunta clave aquí, ahora, es esta: ¿qué vías y circuitos neuronales utiliza el cerebro de una persona ciega para poder leer a través del tacto? ¿Son estas vías y circuitos diferentes de los que utiliza quien aprende a leer por la vía convencional, que es la visión? En definitiva, ¿qué ocurre en el cerebro de un invidente cuando lee con sus dedos? Antes de adentrarnos en la respuesta a estas preguntas, tal vez deberíamos recordar que el sentido del tacto se procesa en el cerebro en áreas diferentes a las que utiliza el sentido de la visión. Sin embargo, con lo que tocamos ocurre algo muy similar a lo que hemos descrito para el procesamiento neuronal de lo que vemos. Es decir, que en el caso del tacto, los receptores, localizados en la piel de nuestros dedos y el resto del cuerpo, son capaces de aportar la información a diferentes áreas de la corteza parietal: la corteza somatosensorial primaria I (AB3, AB1 y AB2), y después al área somatosensorial secundaria II (borde superior de la cisura de Silvio). Es en estas áreas donde se construye la percepción táctil del mundo de las formas (recto, curvo, anguloso), los tamaños (grande o pequeño), la textura (liso o rugoso), la presión (duro o blando), la temperatura (calor o frío) y, aún más allá, el sentido y la conciencia de la posición y peso del objeto y su identificación. Así se explica que tanto el ciego como quien ve puedan, con los ojos cerrados, por ejemplo, identificar una botella, decir si es grande o pequeña y, con el concurso de otras redes neuronales, distinguirla de un

plato. En este caso, está claro que se utilizan mecanismos y procesos diferentes e independientes de los de la visión (a fin de cuentas, una persona con todos sus receptores y vías sensoriales cerebrales intactas tiene, de hecho, una percepción del mundo —algunos de cuyos rasgos acabamos de describir— polisensorial). ¿Es este el modo por el que el cerebro de un ciego de nacimiento es capaz de distinguir las letras y las palabras?

Hace algún tiempo, alrededor de un cuarto de siglo, se llevó a cabo una serie de estudios en personas ciegas, utilizando registros electroencefalográficos, en los que se mostró que la lectura táctil (Braille) producía una activación en áreas cerebrales tanto en la corteza somatosensorial (tacto) como en la corteza visual (lóbulo occipital). Esto, en principio extraño (la activación de las áreas visuales), llevó a pensar en la posibilidad de que la información táctil, proveniente de los receptores de la piel de los dedos y procesada en el tálamo y después en el área somatosensorial primaria (o también en la secundaria), fuera reconducida después a las áreas visuales de la corteza occipital (corteza cerebral visual), lo que indicaría que los ciegos podrían estar usando, al menos en parte, las mismas áreas cerebrales para leer que las utilizadas por las personas que ven. Posteriormente, otros datos experimentales confirmaron que ese podría ser el caso al comprobar que cuando una persona ciega está leyendo en Braille y se le aplican en la corteza visual ciertos estímulos (estimulación magnética transcraneal) capaces de disrumpir la actividad normal de estas áreas cerebrales, comete errores en su lectura. Sin duda estos últimos estudios vinieron a reforzar de una manera casi decisiva la idea de que los ciegos bien podrían estar utilizando las áreas visuales para el procesamiento cerebral de la lectura táctil.

Todo esto, sin embargo, seguía sin ser completamente aceptado por todo el ámbito científico por cuanto se enfrentaba a la idea de que en una persona ciega (y más en el caso del ciego de nacimiento) las áreas de la visión deberían, por lógica, ser áreas cerebrales inactivas y sin propósito funcional alguno. Pero por otra parte, y a pesar de ello, se sabía que estas áreas visuales seguían sustentando una cierta actividad metabólica, lo que mantenía abierta la duda sobre si desempeñaban alguna función más allá de la que siempre se les había atribuido y que era, evidentemente, la de la

visión. Con el tiempo se demostró claramente, y de modo ya definitivo, que los ciegos, efectivamente, utilizan las áreas visuales cuando leen las letras por el tacto utilizando el método Braille (Sadato 1998). La pregunta que surge ahora es: ¿qué caminos sigue la información neuronal desde los dedos, cuando tamborilean sobre los puntitos en relieve que simbolizan las letras en las páginas de Braille, hasta el reconocimiento de estas, luego de las palabras y, con ellas, de su significado?

Hoy sabemos (véase figura 9) que cuando un ciego de nacimiento comienza a leer en Braille, se produce una activación de las áreas somatosensoriales primarias I (constituidas por las áreas de Brodmann AB3, AB1 y AB2) y que esto ocurre en ambos hemisferios cerebrales. Con el progreso en el aprendizaje de la lectura, esta actividad se lateraliza en gran medida al hemisferio cerebral izquierdo, siempre que la lectura se realice con el dedo índice o medio de la mano derecha. Hasta aquí, era lo esperable en función de los conocimientos sobre el procesamiento y la fisiología general del tacto. Sin embargo, otros estudios posteriores mostraron que el procesamiento de la información táctil en la persona que ve (en el que, tras la activación del área cerebral somatosensorial I, la información sigue su procesamiento en el área somatosensorial II —área cortical de asociación—) no ocurre de la misma manera en la persona que no ve. En el invidente, específicamente en el caso de la identificación de las letras, el flujo de la información táctil no prosigue, tras alcanzar las áreas somatosensoriales primarias (I), por las rutas neuronales que llevan a las áreas somatosensoriales (tactiles) de asociación secundarias II (parte de la AB2). De hecho, esta área cerebral somatosensorial secundaria (II) sufre incluso una clara inhibición de su actividad durante la lectura (véase figura 9).

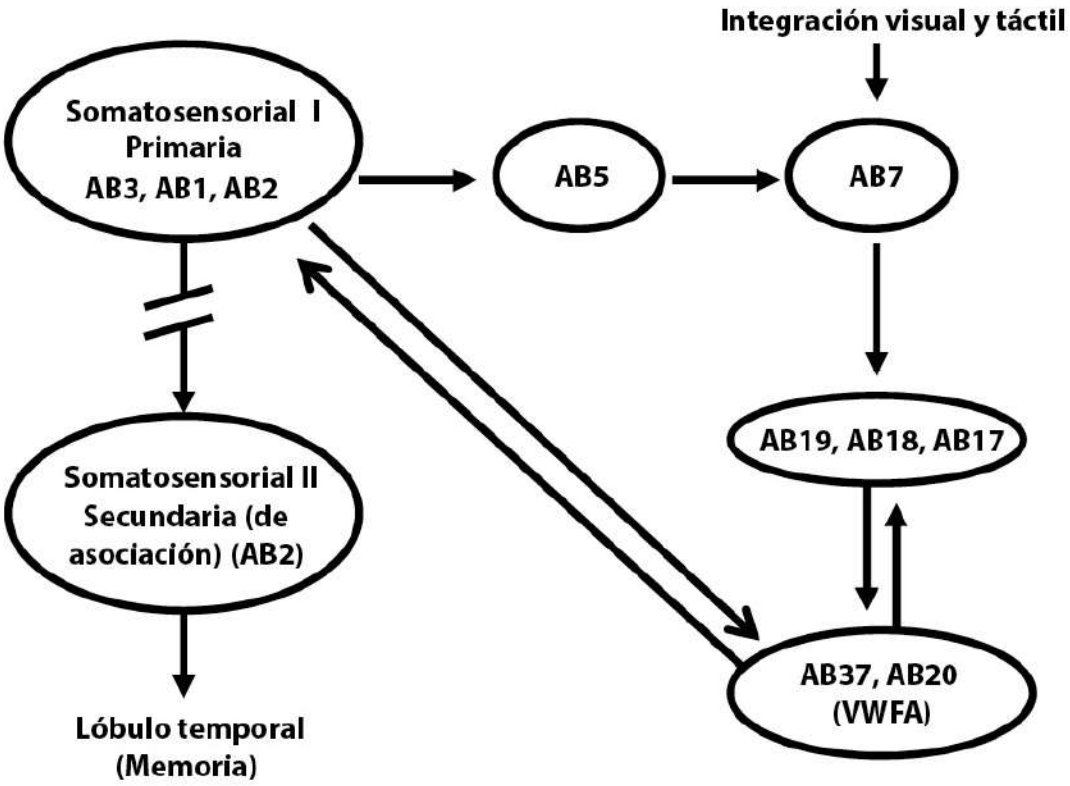

FIGURA 9. Esquema que representa el flujo de información en el procesamiento cerebral de la lectura de las personas que no ven (véase la explicación en el texto). En aras de la simplicidad del esquema, se omite la información que desde AB37 y AB20 (VWFA) alcanza los territorios de Boca y de Wernicke.

Así pues, para el caso que nos ocupa, que es el procesamiento cerebral de la información táctil de las letras en las personas ciegas, hoy sabemos de modo firme que la información táctil es procesada desde esta área somatosensorial I hasta la corteza parietal (áreas de Brodmann AB5 primero y AB7 después, localizadas ambas en la parte posterior de dicha corteza parietal). Precisamente estas dos áreas parietales (y más específicamente la AB7) ya codifican genéticamente para un procesamiento polisensorial tacto-visión (que es, por ejemplo, lo que ocurre cuando ambos sentidos convergen al tratar de alcanzar algún objeto con la mano). Tras ello, la información pasa a las áreas visuales (AB19, AB18 y AB17) de la corteza cerebral, localizadas en la corteza occipital. Entre estas áreas visuales destaca sobremanera la función del área visual primaria estriada AB17, que se ha identificado como el área principal base para la

construcción e identificación de las letras en Braille (computando características o formas geométricas simples, como los puntos y líneas que cambian de dirección de las letras Braille). Esto último sería comparable a la computación de estas formas geométricas simples que hemos descrito ya en capítulos anteriores para la visión de esas mismas letras en esa área B17. Como hipótesis, se ha sugerido que la información procedente de las áreas parietales AB5 y AB7 (tacto) es transferida a las áreas cerebrales occipitales (AB19, AB18 y AB17) de la visión debido a que estas últimas contienen, en su conjunto, un diseño neuronal más fino para la detección y procesamiento de puntos, líneas y ángulos muy pequeños, que es el estímulo verdaderamente requerido en el caso de la percepción de las letras (figura 9).

Por último, esta información finaliza, a través del sistema visual ventral, en la corteza inferotemporal, área 20 de Brodmann (AB20) y área AB37 (giro fusiforme), donde se encuentra la VWFA (área visual de formación de palabras). Aquí, en la VWFA, como ya hemos comentado en capítulos anteriores, a partir de un grupo o conjunto ordenado de letras y sílabas, siguiendo reglas ortográficas, se construirían e identificarían las palabras. En definitiva, se trata de cambios y procesos cerebrales plásticos que deben ser resultado de una presión selectiva cultural en las personas ciegas durante el aprendizaje de la lectura. Resaltaré, una vez más, que esto último, en su esencia, no difiere de la propia transformación plástica que también se produce en el área VWFA (área visual de formación de palabras) de las personas que aprenden a leer por el sentido de la visión, y cuya función estaba en su origen genéticamente programada para (principalmente) detectar caras y otras formas de objetos y seres vivos.

En este contexto, no deja de ser interesante que a la VWFA, que desde su identificación se estableció como un área unimodal (selectiva para la visión en la formación de las palabras; de ahí su nombre en inglés), hoy, y a la vista de estos recientes hallazgos, se la considere un área multisensorial, multimodal o polimodal (Reich et al. 2011). Es decir, que no solo se activa por la visión de las letras y, con ellas, la construcción de las palabras, sino también por el tacto de las letras; y yendo aún más allá, parece que incluso por la construcción de letras por el sonido (lo veremos más adelante en este

mismo capítulo). Sin duda que esto último desafía concepciones anteriores sobre el funcionamiento del cerebro y nos indica que es posible que ciertas áreas alberguen circuitos neuronales cuyo trabajo de computación (intrínseco a su diseño neuronal) sea lo único especifico de ellas, independientemente de la entrada sensorial que las alimente y las ponga en marcha (sea esta entrada sensorial procedente de la visión, el tacto o el oído). Tal sería el caso para la VWFA.

Así pues, en el cerebro de las personas ciegas el área VWFA se activa selectivamente por la lectura de palabras en Braille, con una localización preferente (exactamente como ocurría con las palabras leídas a través de la vista) en el hemisferio cerebral izquierdo. De modo que las principales propiedades funcionales de la VWFA, tal como han sido identificadas en el cerebro de las personas que ven, siguen siendo las mismas en las personas ciegas. Esto último ha llevado a renombrar a la VWFA (área visual de formación de palabras) como MWFA (área multimodal formadora de palabras). Y aún más, la activación de la VWFA, tanto en el caso de la lectura por visión como en el de la lectura por el tacto, parece tener un proceso de retroalimentación tanto con las áreas somatosensoriales del tacto (área somatosensorial I) como con las áreas visuales corticales en particular, y de modo más selectivo con la corteza visual primaria (estriada) (AB17), proceso que permitiría correcciones acerca del trabajo de la VWFA en la construcción ortográfica de las palabras (tal como hemos visto en capítulos precedentes para el caso de la visión) (véase figura 9).

La versatilidad en la construcción de las palabras en su relación con la entrada sensorial a la VWFA ha sido ampliada con experimentos muy recientes de lectura experimental con sonidos (lo acabamos de mencionar) al demostrar que esta área no solo responde a las características de unión y conjunto de líneas vistas o tocadas, sino también oídas. Por ejemplo, se ha podido comprobar que, utilizando un determinado algoritmo y transformando las letras en códigos sonoros, los ciegos de nacimiento pueden aprender a leer letras. Códigos que vienen especificados, en este caso y para cada letra, por el tono (frecuencia), la intensidad (volumen) y la duración (tiempo) del estímulo sonoro. Y también se ha podido comprobar (a través de imágenes tomadas por resonancia magnética funcional) la

respuesta selectiva de la VWFA al formar palabras utilizando este nuevo código alfabético. Esto refuerza la idea, que también acabamos de mencionar, de la multimodalidad (MWFA) de la VWFA (Striern-Amit 2012).

De modo similar a lo que, como se comentó en el capítulo 9 sobre la emoción, ocurre con las palabras vistas, se podría especular que las palabras construidas en la VWFA, a través del tacto y, presumiblemente, también a través del sonido, llegarían al sistema límbico, en donde serían teñidas de «color emocional» (bueno o malo), pasando después a ser procesadas en las correspondientes áreas de los sistemas dorsal (territorio de Wernicke) y anterior (territorio de Broca, principalmente en la corteza frontal inferior —AB47—, alcanzando así el léxico y el significado cognitivo —semántica—). Finalmente, podríamos concluir que la base neuronal (organización anatómica y fisiológica) de la lectura en el cerebro es muy similar tanto en las personas ciegas (tacto) como en las que utilizan la visión, y también en el caso de la lectura experimental hecha con los sonidos (figura 10). Un indicio indirecto de lo que acabo de apuntar (y, desde luego, de su fisiología) es el hecho de que los ciegos que utilizan el método Braille pueden alcanzar una velocidad de lectura muy similar a la de los videntes, es decir, alrededor de las 120 palabras por minuto. Es más, en ambos casos (lectores videntes e invidentes) existen personas excepcionalmente dotadas que pueden llegar incluso a alcanzar en su lectura una velocidad de 260 palabras por minuto. Además, en el cerebro de las personas ciegas se produce (ya lo apuntamos al abordar el capítulo 5 sobre plasticidad) un fenómeno plástico relevante que podría ayudar a entender este hecho. Y es que los lectores de Braille tienen una representación anatómica del dedo índice derecho (lector) en su hemicerebro izquierdo mucho mayor que la representación del dedo índice de la mano izquierda (el dedo que no lee) en el hemicerebro derecho. Esto confirmaría la existencia de un número mayor de redes neuronales en el hemicerebro izquierdo dedicadas al procesamiento y a la sensibilidad de la información sensorial proveniente del «dedo que lee» y de la gran fluidez lectora de la persona que lee.

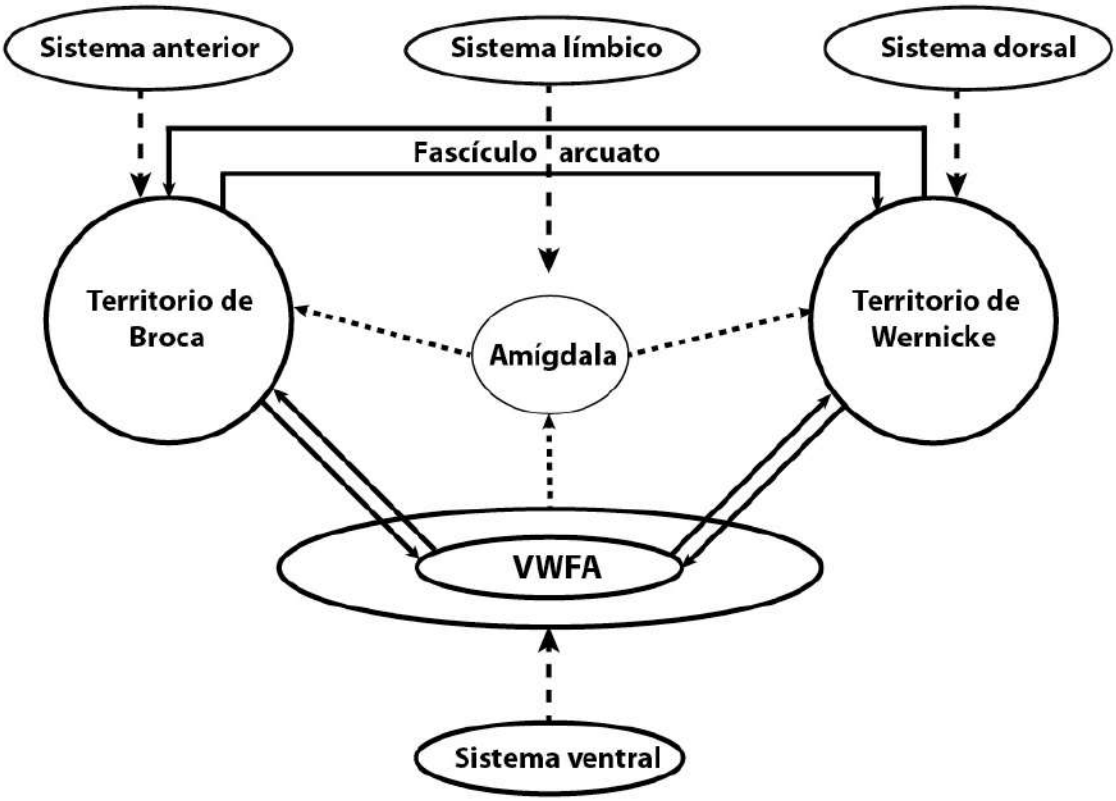

FIGURA 10. Flujo de información en el procesamiento neural de la lectura. Esquema de una visión del hemisferio cerebral izquierdo (véase la explicación en el texto). VWFA (área visual de formación de palabras). Fascículo arcuato: vía interactiva de información entre los territorios de Wernicke y de Broca. Para simplificar el esquema, se han omitido las áreas de asociación prefrontales, parietales y temporales (también parte de los sustratos de la lectura).

Y no quisiera dejar de responder aquí, ahora, al final, aquella pregunta con la que comencé el capítulo. ¿Qué puede llegar a imaginar un ciego de nacimiento cuando lee «ese brusco rugido de las olas cuando golpean las rocas de la costa», o «el galope de aquel caballo era hermoso y veloz», o también, para el caso, «el blanco de la nieve, la pradera verde y el lago de aguas calmas y azules», sin haber visto nunca el mar, ni una roca, ni un caballo ni tampoco los colores? Es evidente que una persona ciega construye un nuevo mundo, paralelo al de los videntes, con el resto de los sentidos, que son el tacto, el oído, el gusto o el olfato. Pero ¿hasta qué punto son estas diferencias tan marcadas? Me refiero a que parece claro que un invidente, centrándonos ahora en el ejemplo de un caballo, es capaz de construir en su cerebro (percibir) la forma, el tamaño, el movimiento, el

relincho y la velocidad de este animal, y hasta experimentar la emoción y aun apreciar la conducta noble y otras características del caballo a través de los sentidos sensoriales del tacto y el oído (y gracias a otras descripciones conductuales del caballo hechas por personas que también añaden conocimiento a sus propias experiencias sensoriales). Y, además, esto es equivalente a nivel conceptual a la imagen que tiene la persona que ve, lo que claramente hace posible el diálogo, obvio, de las personas ciegas y las personas que ven sobre estas características del caballo que cada uno experimenta. Con todo, hay conceptos, como el de belleza, en los que ya cuesta un poco más encontrar esa aproximación de la que estoy hablando entre personas ciegas y personas que ven. Resulta difícil concebir que una persona pueda aproximarse a la idea de belleza sin poder ver o, al menos, que pueda experimentar el sentimiento de belleza con la plenitud con que lo hace quien ve; ni aun entendiendo que una persona ciega pueda apreciar algo hermoso a través de las características que con su tacto detecta en relación con esos cánones de la belleza clásica que son el orden, la proporción, la simetría y la propia emoción (placer) que experimenta al percibir esos parámetros en la medida justa. De hecho, esto es lo que aprecia y siente una persona ciega tras explorar con sus dedos bilateralmente la frente, los ojos, la boca o la barbilla de otro ser humano, por ejemplo. Y también, por supuesto, en otros casos, como podría ser el del caballo que hemos venido poniendo como ejemplo, al apreciar la curvatura del cuello y las crines, la suavidad del pelo o las proporciones de las distintas partes de su cara. Y, yendo más lejos, será capaz de experimentar emoción al percibir la posible nobleza en la conducta de ese caballo. Con todo, sin embargo, parece claro que una persona ciega nunca podría experimentar la hermosura del caballo cuando cambian los matices del color de sus crines mientras galopa al viento, o los colores del mar calmo o embravecido, o la nieve blanca, el prado verde y las tonalidades de los azules del lago en toda su plenitud. Y esto se debe a que hay una característica sensorial que es exclusivamente inherente a la persona que ve, que es el color; este (y aun su ausencia) es un atributo solo y exclusivamente construido por el cerebro visual, y qué duda cabe de que el color es el estampado inalienable que posee todo lo bello.

13

¿QUÉ OCURRE EN EL CEREBRO DE LOS NIÑOS QUE NO LEEN BIEN?

A la búsqueda de intervenciones plásticas tempranas

En el colegio siempre hay niños que presentan dificultades para el aprendizaje de la lectura. Niños que progresan «lentamente» en ese aprendizaje comparados con el resto de la clase. Ese progreso lento puede tener muchas y diferentes causas, pero no cabe duda de que la dislexia es, de modo destacado, una de ellas. La dislexia no es ninguna enfermedad, sino un síndrome, es decir, una colección de síntomas que aparecen aislados y específicamente en los niños (en este caso en relación con la lectura) sin formar parte de ninguna entidad nosológica que afecte a todo su organismo. Los niños que sufren dislexia padecen una disfunción del proceso que permite la decodificación fonológica, es decir, la conversión del grafema en el fonema de las palabras, lo que dificulta su comprensión. Hoy sabemos que existe un abanico de posibilidades a la hora de tratar este síndrome aprovechando los conocimientos actuales acerca de los mecanismos plásticos del cerebro. Métodos psicológicos que, aplicados por profesionales, ayudan a aliviar, mejorar e incluso revertir la dislexia. Hay programas conductuales que, convenientemente aplicados y con el tiempo, han demostrado mejorar significativamente las capacidades lectoras del niño. Mejoras que, además, se reflejan en un cambio, adecuándose a patrones normales, de la actividad alterada de las áreas cerebrales sustrato de la lectura. La dislexia, pues, es en muchos casos un proceso reversible.

Al final, para tantos padres y maestros lo importante de todo lo que aportan los conocimientos acerca del cerebro en relación con la lectura no es tanto lo que ocurre cuando el niño progresa en ella adecuadamente sino lo que pasa con su hijo, o su alumno, cuando tiene problemas durante su aprendizaje. Es decir, cuando, tras las tutorías con el maestro, este señala a los padres que su hijo tiene dificultades para aprender a leer y que, aun cuando avanza en ese aprendizaje, lo hace más lentamente que los demás niños. Sin duda esa «dificultad» o «enlentecimiento» en su progreso normal puede tener muchas y sutiles causas, pero, desde luego, la dislexia es la más paradigmática. Y claramente el problema psicológico de estos niños, más allá del central, que es el de la lectura, es que les hace quedarse «atrás» con respecto a sus compañeros, lo que sin duda puede ir acompañado a veces de

otros pequeños problemas añadidos al margen de la propia lectura, entre ellos su estado emocional. En cualquier caso, es esta una situación que, de no remediarse a tiempo, incide y tiene consecuencias en la vida presente y futura del niño a través de una disminución de su capacidad para poder leer de una manera fluida, rápida y automática y extraer, sin equívocos y con precisión, el significado, tanto emocional como semántico, de lo que está leyendo. En cualquier caso, esta «lentitud» y su consecuente «retraso» en el progreso de aprendizaje de la lectura constituyen los indicadores más claros que llevan a la presunción inicial de que un niño padezca dislexia. Con todo, se puede padecer dislexia y, aun con ello y andando el tiempo, alcanzar las más altas cotas de excelencia intelectual. Piénsese, por ejemplo, en Leonardo da Vinci, Albert Einstein, Thomas Edison o Steve Jobs, que, al parecer, fueron niños con dislexia y es claro, para todo el mundo, que, al menos los tres primeros, se encuentran entre los «grandes» de la historia del pensamiento humano. Y es que hoy sabemos que los niños que sufren este síndrome no solo desarrollan conductas «normales» en sus actividades en el colegio y en su relación con sus compañeros (tanto en clase como en el recreo), sino que algunos de ellos van incluso más «adelantados» que los demás en la comprensión de otras materias, como por ejemplo cálculo, matemática, dibujo o historia. De hecho, se ha demostrado que hay un porcentaje de estos niños, que oscila entre el 2 y el 5%, que, a pesar de estas dificultades en el aprendizaje de la lectura, poseen altas capacidades mentales (Brody y Mills 1997).

Es muy curioso, además, el caso de personas que, habiendo sufrido o manteniendo aún los síntomas de la dislexia, poseen capacidades especiales, como, por ejemplo, la de percibir patrones espaciotemporales en fondos punteados, borrosos o muy poco definidos en el entorno, lo que les permite distinguir objetos o formas de animales o personas, una tarea que para los demás, en general, es casi imposible de realizar. Es este un fenómeno, la «apofenia», para el que el neuropsiquiatra Peter Brugger propuso como sustrato neuroquímico una hiperactividad de los sistemas dopaminérgicos cerebrales, puesto que se produce con más frecuencia en personas que están bajo los efectos de las anfetaminas o que padecen determinadas enfermedades mentales, como la esquizofrenia (Mora 2011). Esto último no

deja de tener un sentido especial dentro de ese concepto reciente acuñado como «neurodiversidad» (Armstrong 2011), que hace referencia a la posibilidad de que síndromes aparecidos a lo largo del proceso evolutivo, bien biológico, bien cultural y social (este último en el caso de la dislexia), hayan podido contribuir a dar un valor añadido al ser humano, dotándole de finas capacidades para la detección de cierta clase de estímulos. Estímulos que, procedentes del medio ambiente, por ejemplo, bien podrían haber sido de gran valor para el mantenimiento de la supervivencia personal y del grupo. Tales podrían ser, también, los talentos con frecuencia detectados en personas que padecen en grado leve el síndrome de autismo, en los que se han descrito habilidades especiales para resolver problemas matemáticos. O de quienes padecen el síndrome por déficit de atención e hipermotilidad, que han demostrado ser capaces de detectar en su entorno estímulos no bien definidos que les han conducido a potenciar sus capacidades creativas. U otros procesos de características similares a las mencionadas, constatados en algunas personas que padecen el síndrome obsesivo-compulsivo.

Digámoslo ya. La dislexia, del griego *dis*, que significa ‘mala función’ o ‘dificultad’, y *lexis*, ‘palabra’, no es ninguna enfermedad, sino un síndrome (colección de síntomas) que se manifiesta o se expresa durante el aprendizaje de la lectura como una dificultad o menor capacidad para leer bien las palabras. Ello significa, digámoslo una vez más, que el niño es lento y no posee la fluidez y velocidad normales cuando comienza a leer. Se ha estimado que este proceso se presenta en alrededor de un 15% de la población general, y comienzan a conocerse algunos genes que parecen formar parte de su sustrato genético-molecular. Según algunas teorías, esta alteración genética se expresa durante el desarrollo del cerebro en la época fetal. Fundamentalmente parece tratarse de un defecto en la emigración de las neuronas a la corteza cerebral. Lo cierto, sin embargo, es que el mapa genético de la dislexia parece hoy, a todas luces, muy complejo. Por los estudios familiares que se poseen, parece haber cierta predisposición familiar a padecerla, pero sin que sea genéticamente determinante, ya que se ha podido comprobar en parejas de hermanos gemelos monocigóticos (genéticamente iguales) que uno de ellos padece dislexia y el otro no. Y también que de parejas con dislexia nacen hijos que no la tienen. Esto nos

indica y nos lleva a intuir que en la aparición de este síndrome bien pudiera existir una influencia del medio ambiente (familiar, social, cultural). En cualquier caso, lo que sí es importante señalar es que no hay tanto «dislexia» como niños que padecen «su propia dislexia». Es decir, que cada caso es único, individual, con características y peculiaridades personales que lo hacen diferente del de cualquier otro niño que también la padezca, además de que probablemente cada niño posee un sustrato neuropsicológico propio. Esta heterogeneidad es, de hecho, una oportunidad abierta para sacar provecho de los mecanismos plásticos del cerebro a través de los cuales se puede actuar con aproximaciones psicológicas precoces individualizadas capaces de aliviar, mejorar o incluso revertir este síndrome.

El diagnóstico de la dislexia se puede realizar hoy con relativa certeza si lo hace un profesional especializado, bien sea psicólogo, médico pediatra o psiquiatra infantil. Este primer paso (el de un buen diagnóstico) es, sin duda, de enorme importancia (piénsese que hablamos de niños de 5 o 6 años), pues la consecuencia de un equívoco a esa edad puede traducirse en un retraso del tratamiento adecuado. En la realidad se han venido produciendo, de hecho, estos retrasos, que han tenido y siguen teniendo sus causas en algunos ambientes sociales (tanto del ámbito familiar como del propio colegio) debido a errores en torno a los cuales se han creado, además, mitos que no tienen nada que ver con la propia dislexia. Por ejemplo, el así llamado «mito de la dislexia» (Mora 2018), que tiene que ver con un fenómeno o signo visual que padecen algunos niños durante el desarrollo. Niños que «ven» las letras al revés, por ejemplo la letra «b» escrita como «d» o la «p» escrita como «q», o una «m» invertida de arriba abajo como una «w». Y es este el fenómeno que, al producir, además, cierta lentitud en la lectura o la escritura de la palabra, ha llevado a algunos maestros a considerarlo (para ellos «claramente») un «síntoma clave» indicador de que el niño padece dislexia. Este es el mito («falsa verdad»). Porque en realidad la inversión de las letras, que puede enlentecer la lectura, es un proceso aislado, episódico, que puede padecer cualquier niño (con dislexia o sin ella). El problema es atribuir falsamente un signo visual al síndrome disléxico, cuando este está causado por otro problema que es de

naturaleza fonológica. El problema de este mito, como ocurre en general con todos, es que persiste en el tiempo y, en particular, entre los maestros, que son muchas veces los que primero «diagnostican» de dislexia al niño. «Diagnóstico» que comunican a los padres, a los que informan de que el pequeño padece dislexia cuando su problema real está relacionado con la visión. Sin duda, en los casos reales de dislexia esto retrasa a veces la solución, al no poder hacerse un buen diagnóstico temprano (ir de médico a médico, de oftalmólogo a otorrinolaringólogo y de psicólogo a psicólogo), dado que el problema de la dislexia es fonológico y no visual.

En la mayoría de los niños que sufren dislexia, el trastorno clave que dificulta el aprendizaje de la lectura, al menos en el síndrome de dislexia más común, reside principalmente, ya lo hemos dicho, en la decodificación fonológica de la letra o sílaba escrita en su correspondiente sonido (el paso de grafema a fonema) (Gabrieli 2009); es decir, en el mal procesamiento de las señales acústicas y la incapacidad del niño para discriminar los sonidos de palabras y sílabas que, para él, se suceden con excesiva rapidez. En estos niños, el sustrato neuronal del problema reside en las redes neuronales del territorio de Wernicke: AB22 (área más posterior de la corteza temporal superior), AB39 (giro angular) y AB40 (giro supramarginal), que es donde reside principalmente el proceso de decodificación fonológica. En relación con la actividad neuronal de este territorio de Wernicke, hay una dinámica cerebral entre el hemisferio cerebral izquierdo y el derecho que es casi patognomónica (signo cardinal) del síndrome de la dislexia y que convendría resaltar. Efectivamente, en los niños que progresan adecuadamente con el aprendizaje de la lectura, y desde el mismo inicio de dicho aprendizaje, se activan en ambos hemisferios los territorios Wernicke. Con el continuado progreso de la lectura, sin embargo, se va produciendo una mayor actividad del hemisferio izquierdo y un descenso paralelo de esa misma actividad en el hemisferio derecho, es decir, que tiene lugar una progresiva lateralización izquierda en la funcionalidad del territorio de Wernicke. Esa lateralización cerebral progresa hasta llegar a un punto en el que la actividad del área cerebral izquierda aumenta al máximo, mientras se mantiene mínimamente en la derecha. Pues bien, este patrón neuronal es diferente en los niños que sufren dislexia. En ellos la actividad neuronal de

las áreas del territorio de Wernicke del hemisferio derecho persiste y es reflejo de las dificultades que encuentran durante el aprendizaje de la lectura. Además, la actividad neuronal en el hemisferio izquierdo de estos niños tampoco aumenta de modo significativo (comparada con el incremento claro y notorio que se detecta entre los que no padecen este síndrome). En general, este es un cuadro cerebral típico, y aun cuando no conozcamos bien qué produce este fallo en la lateralización desde el hemicerebro derecho hacia el izquierdo, ni el sustrato íntimo neuronal-molecular que justifica estas alteraciones, sí nos permite valorar sus posibles cambios y poder analizar si una solución terapéutica está siendo positiva o no. Con todo, sin embargo, es necesario recordar que cada caso es diferente, tanto en el sustrato neurobiológico alterado como en su expresión conductual, sea cual sea su padecimiento, agudeza, componente emocional, progresión o duración. Y aún más. Hay datos más recientes sobre el cerebro, obtenidos por resonancia magnética funcional, que confirman, por un lado, lo que acabo de señalar en cuanto a una actividad neuronal reducida en el territorio de Wernicke del hemisferio izquierdo, y por otro, además, la existencia de una reducción de la actividad específica del giro fusiforme (situado en la corteza temporal inferior de ese mismo hemisferio cerebral izquierdo), lo que incluye, a su vez, a la VWFA.

Junto a todo lo señalado, hay otras alteraciones cerebrales que, aun cuando no sean tan frecuentes, pueden de igual modo llevar a la incapacidad o disfuncionalidad en el aprendizaje de la lectura en algunos niños. Se ha descrito, por ejemplo, la existencia de una «dislexia pura» que estaría producida por lesiones o alteraciones neurológicas puntuales de diverso tipo en esa VWFA de la que acabamos de hablar y que resulta en una lentitud en la construcción de las palabras. Otros subtipos o tipos de dislexia van más allá de los déficits aquí descritos y son aquellos que, específicamente, presentan alteraciones en la comprensión de lo que se lee (semántica) y cuyo sustrato, no bien conocido, involucra principalmente, además de al territorio de Broca (y más concretamente el área AB47), a los sustratos neuronales de la memoria de trabajo (AB9). También hay otros procesos neurológicos que se manifiestan con «síntomas disléxicos» atribuidos, en este caso, a las vías visuales. Así, se ha descrito que una

alteración específica del área visual V5, que codifica para la sensación del movimiento (lo que implica una alteración en los tiempos de secuencia de la lectura de las palabras), puede estar correlacionada con un enlentecimiento de la lectura en algunos niños. Al parecer, el mal funcionamiento de esta área V5 daría lugar a un déficit en los movimientos oculares, que durante la lectura serían más lentos, lo que, consecuentemente, se reflejaría en su habilidad lectora (menor fluidez y velocidad). En este último caso no se trataría propiamente de una dislexia tipificada como tal, dado que son procesos que ocurren en áreas cerebrales que no se relacionan de modo específico con los circuitos neuronales de la lectura, sino con los circuitos visuales.

Resulta esperanzador saber que el síndrome disléxico es susceptible de ser revertido, en muchos casos, con intervenciones psicológicas tempranas (Kujala 2001; Price y Mechelli 2005; Kosak-Babuder 2019). Los fundamentos básicos de estas intervenciones residen en aprovechar las capacidades plásticas del cerebro y, en particular, de un cerebro que todavía se encuentra en el período álgido de estas capacidades, como es el de los niños. Por ejemplo, hay tratamientos actuales, por lo general realizados a través de programas de ordenador, consistentes en mostrar al niño una palabra en la pantalla. El niño, entonces, debe leerla correctamente en voz alta, y tras escucharse a sí mismo con atención, debe no solo interpretar su significado, expresándolo también en voz alta, sino escribirlo en un cuaderno o en el mismo ordenador (modelo computacional «doble vía»). Algo tan simple, y de muy fácil manejo técnico, repetido varias veces con palabras diferentes y a lo largo del tiempo, no solo mejora significativamente las capacidades lectoras del niño, sino que ello se refleja en un aumento selectivo de la actividad neuronal en las áreas del territorio de Wernicke de su hemisferio cerebral izquierdo.

Un estudio interesante a este respecto, en el que se utilizó resonancia magnética nuclear, merece ser descrito con más detalle aquí (Simos et al. 2002). Los niños de este estudio fueron cuidadosamente seleccionados para que tuviesen coeficientes intelectuales normales acordes con su edad y no padecieran ningún otro trastorno añadido, como pudieran ser déficits auditivos o patologías de cualquier otro tipo (visuales, emocionales o

neurológicas en general). A los niños se les realizó una intervención consistente en mostrarles en una pantalla de ordenador y de modo sucesivo veinte pares de palabras falsas (pseudopalabras, palabras sin significado), como, por ejemplo, «petusco-sodusco» o «calubio-diluca», con el fin de evitar una posible contaminación con el procesamiento cerebral de su significado y centrar la intervención solo en la relación palabra(pseudopalabra)-sonido. Ante estas parejas de pseudopalabras, el niño debía indicar si las dos palabras de cada par rimaban o no (como en el caso de los dos pares que acabo de poner como ejemplo). Se trataba, en definitiva, de destacar la fonología, la sonoridad y la musicalidad (finura), que es donde principalmente reside el problema de estos niños. La intervención consistió en un entrenamiento que duró aproximadamente 80 horas en total (entre una y dos horas diarias durante ocho semanas). Lo interesante de este estudio es que las imágenes cerebrales constataron, de modo concluyente, un aumento importante de la actividad neuronal en los territorios de Wernicke del hemisferio cerebral izquierdo, que se acompañó de una reducción de esta actividad en esos mismos territorios de Wernicke pero del hemisferio cerebral derecho. Es más, los resultados finales mostraron que estos aumentos (hemisferio izquierdo) y disminuciones (hemisferio derecho) estuvieron dentro de los rangos de los parámetros que se detectan en los niños que leen adecuadamente. Curiosamente, además, estos resultados se acompañaron, de modo paralelo, de un aumento significativo en la comprensión y la rapidez lectoras del niño. Esto es solo un ejemplo que demuestra que las intervenciones tempranas permiten, en muchos casos, que algunos niños alcancen o se aproximen, en gran medida, a las habilidades lectoras de sus compañeros tras revertir su actividad cerebral (territorios de Wernicke) hasta situarla en patrones normales.

En definitiva, hoy se poseen conocimientos y test suficientes como para detectar y hacer un buen diagnóstico de la dislexia. Y, con ello, aplicar las intervenciones tempranas (técnicas y tratamientos) que existen y que son bastante efectivas para mejorar significativamente esta disfunción. De hecho, ya hay estudios y libros asequibles muy actualizados y magníficamente escritos en los que se describen programas, materiales, consejos y ejemplos de ejercicios que, junto con otras aproximaciones

basadas en juegos informáticos, ayudan de forma muy significativa a mejorar este síndrome de la dislexia. Porque, como señala Luz Rello, «aunque la dislexia sea para toda la vida, ya tiene solución» (Rello 2019). En cualquier caso, estas intervenciones plásticas tempranas y sus resultados han servido a los científicos cognitivos no solo para conocer mejor los circuitos neuronales alterados responsables de la dislexia y mejorar el problema de estos niños, sino también para comprender más en profundidad los circuitos neuronales que constituyen el propio sustrato cerebral de la lectura.

14

CEREBRO, LECTURAS, INTERNET, EDUCACIÓN Y BELLEZA

Finalizamos este libro retomando el aserto hecho en su primer capítulo, cuando señalamos que la lectura, ese proceso que tiene en su origen múltiples y anónimos autores, ha significado una verdadera revolución cultural en el mundo. Revolución que ha potenciado una comunicación humana universal, y con ello, y a través de las miles de lenguas que hoy se escriben en el mundo, el mismo pensamiento y por ende el propio conocimiento, también universal. Y todo ello tiene su sede última en el cerebro, ese enorme cúmulo de células, las neuronas, cuyo ensamblaje (redes y circuitos) ha dado lugar a la conciencia, un complejo funcional que ha alumbrado el mundo y cuya verdadera esencia como proceso cerebral todavía está por conocer. La naturaleza, con sus azares y determinantes, ha creado un organismo (la persona) cuyo cerebro, en su interacción con los demás seres humanos y el medio cultural y físico en el que vive, ha sido capaz de producir nuevas culturas y, en ellas, ese complejo mundo de valores, normas y hábitos éticos que las conforma. De modo definitivo, todo esto nos ha permitido tomar conciencia de que el ser humano es lo que la educación hace de él. Y así ha nacido la neuroeducación, que es esa nueva perspectiva educativa que, basándose en los conocimientos acerca de cómo funciona el cerebro, nos lleva a mejorar la instrucción (aprendizaje, memoria, conocimientos) y la propia educación (valores, normas y hábitos éticos), sostén del pensamiento y la conducta de los ciudadanos honestos. A todo esto han contribuido poderosamente la lectura y la escritura. Y más recientemente, esa vorágine de progreso que conocemos como internet y que, en muy poco tiempo, ha llevado el conocimiento escrito a todos los rincones del orbe, transformando con ello, a su vez, la física y la química del cerebro de todos los seres humanos.

La lectura es un instrumento que permite descubrir infinitos mundos pintados con las palabras. Es quizás el mejor medio de construir un puente definitivo entre humanidades y ciencia. Leer es, tantas veces, alcanzar destellos de belleza en lo escrito. Belleza que, como los colores de las cosas y seres vivos en el mundo, es enteramente creada por el cerebro humano. Y de ahí el sentido de la vida que cada uno elabora para sí mismo y que tampoco la naturaleza parece tener. Y con ese sentido humano y con la ética, la belleza y el placer kantiano (aquel que se disfruta más largamente, sin saciedad ni agotamiento) deviene lo poco que en este mundo nos puede «purificar, recrear, elevar y fortalecer», como escribiera Schopenhauer. Eso, en alguna medida, se logra con la lectura. De todo esto trata este capítulo.

Se dice que Sócrates fue muy reticente a la idea de que el pensamiento se debiera comunicar a través de la lectura y la escritura. Al parecer pensaba que, al no «tener todo en la cabeza», la reflexión personal terminaría por

«aflojarse» y perder su fuerza. Sócrates se equivocó de plano. La lectura ha significado una verdadera revolución cultural en el mundo, potenciando el pensamiento y su comunicación a los demás. De hecho es, sin duda, el instrumento más poderoso que existe en la comunicación humana. Una comunicación universal que, como ya dijimos en la introducción de este libro, nació hace apenas unos 6.000 años. Un instrumento, además, adquirido en la naturaleza «artificialmente», pues la lectura, como la ética, y en contraste con el lenguaje, no viene programada genéticamente a través del proceso evolutivo. Ambas, lectura y ética, son producto, precisamente, de las necesidades de la persona que vive en sociedad. Ambas son fenómenos culturales, subproductos de presiones sociales selectivas y de las capacidades plásticas del cerebro humano.

Con todo, no es menos cierto que la lectura y su aprendizaje se han aprovechado, en gran medida, de los circuitos neuronales que codifican para el lenguaje, que sí están genéticamente programados en el cerebro. Y no solo eso, sino que la lectura también ha utilizado otros territorios neuronales mucho más primitivos, como son los de la visión y el tacto. Y en ellos (en la visión de modo especial) ha ocupado competitivamente áreas específicas como las utilizadas para procesar las formas de todo lo que se ve (en particular las caras). Hoy, ya lo hemos visto en las páginas precedentes, conocemos parte de los muchos vericuetos cerebrales por los que las palabras escritas se construyen y corretean hasta alcanzar al «cerebro emocional». Y cómo, después, alcanzan esas otras áreas corticales (parietales y frontales) en donde adquieren sus significados.

Pero más allá de la visión, no deja de ser espectacular que también el tacto pueda utilizarse para leer con ese método de puntitos en relieve que llamamos Braille (e incluso la audición, como hemos visto en páginas precedentes). El tacto, ese tan viejo y primitivo sentido al que hemos acudido, y seguimos acudiendo, «desde siempre» en la historia para realizar los menesteres más «serios» y que tienen que ver con «mantenernos vivos» como individuos y como especie (comer, beber, afecto, sexualidad), ha sido capaz de lograr que los ciegos de nacimiento también puedan leer. En cualquier caso, lo que sí parece claro es que la naturaleza ha creado un órgano, el cerebro humano, capaz de desarrollar la enorme potencialidad de

competir plásticamente con nuevas tareas culturales, que se hacen su hueco en ese cableado, ya diseñado, para realizar otras funciones.

La expansión de la lectura ha permitido que los seres humanos se comuniquen desde los puntos más recónditos del planeta (y más allá, como la luna) utilizando cualquier lengua y a la velocidad del «instante». Y ese instante lo proporciona internet. Precisamente, la relación entre internet y la lectura bien merecería alguna reflexión añadida, aunque solo fuera de modo tangencial. Me refiero al proceso atencional sin duda requerido para leer. Nadie duda que internet ha supuesto una revolución cultural, creando una «era digital» en la que la lectura no solo se hace más deprisa sino también de modo diferente. Lo cierto es que internet permite hacer todas las lecturas imaginables de una manera fácil y accesible al momento, como no había ocurrido nunca antes en toda la historia de la humanidad. Pero leer requiere un foco de atención casi completo, con la inhibición del 99% de todas las otras funciones cognitivas posibles que realiza el cerebro. Este foco precisa un tiempo determinado. Hoy se especula sobre la posibilidad de que el foco atencional, y los tiempos que se utilizan para las lecturas en internet, puedan interferir con los tiempos que se requieren para la lectura ejecutiva, sea de un informe, un ensayo, un poema o una novela. Y una pregunta que se viene haciendo estos días es: ¿supone algún peligro la lectura por internet? Sin duda esta es una pregunta abierta y todavía no contestada, pero lo cierto es que se viene conjeturando sobre la posibilidad de que la actividad de los circuitos neuronales que codifican para la «atención digital», particularmente en niños (ejemplos rápidos del foco atencional cuando se navega por internet), pueda llegar a interferir en los mecanismos de la atención ejecutiva «reposada» (tiempos lentos), que es la que se requiere para la adquisición plena de los significados en la lectura.

Lo que sí está demostrado es que la lectura cambia físicamente el cerebro. Y lo hace porque, en su esencia, leer supone, sea mucho o poco, aprender y memorizar, lo que, a su vez, en términos neurobiológicos, significa cambiar la química y la física del cerebro. Pero es que, además, la lectura también posee la capacidad de modificar significativamente el habla, lo que no deja de ser altamente curioso. Es como si la lectura poseyera una especie de inteligencia noble que le instase a devolver al

lenguaje lo que antes le robó (invasión por parte de esos estímulos novedosos que son las letras y ocupación de nichos neuronales en detrimento de otros con funciones diferentes). Hay estudios que demuestran que el conocimiento ortográfico aprendido con la lectura modifica las capacidades fonológicas de esa misma lectura, y ello resulta en un cambio de las redes neuronales que codifican para la lengua hablada. Dicho en otras palabras: hoy se mantiene la hipótesis de que un niño que ya habla de modo fluido a los 6 años, cuando ha aprendido a leer y escribir, modifica la arquitectura funcional de las redes neuronales que también codifican específicamente para la audición y la fonología (sistema dorsal, territorio de Wernicke en particular), lo que repercute en la modulación y mejora de su expresión verbal. El niño que lee («lector»), en consecuencia, hablaría mejor, al menos en comparación con un niño iletrado. Y esto tiene que ver con la lateralización hemisférica. Cuando se realizan test para determinar la progresión y el nivel de fluidez y la estructura del lenguaje hablado en dos grupos de personas, unas que saben leer y otras no alfabetizadas, se comprueba que las primeras tienen una mayor lateralización izquierda de los territorios de Wernicke que las segundas, lo que se corresponde con una mayor fluidez del lenguaje. Otros cambios plásticos en otras tantas áreas del cerebro, como el mesencéfalo y el tálamo, también podrían influir en ello (Skeide et al. 2017). Y aún más, saber leer y tener fluidez lectora también influye en otras funciones, como la memoria de trabajo. Efectivamente, diversos estudios han demostrado que entre dos grupos de personas, unos iletrados y otros lectores, los segundos tienen una mejor memoria de trabajo que los primeros. Todo ello nos conduce a constatar claramente que un factor cultural (la lectura) influye positivamente en las áreas del cerebro relacionadas con aspectos cognitivos y sociales. Se podría concluir que la alfabetización tiene un alto beneficio social por cuanto representa un mecanismo capaz de proveer mejores capacidades cerebrales ejecutivas. Y esto nos lleva a su vez, y como corolario, a lamentar con tristeza que todavía existan millones de seres humanos en el mundo que no saben leer ni escribir.

Y de nuevo retorno a la lectura misma, a su aprendizaje y sus beneficios, en el contexto de la educación y lo que ello significa como valor social y

también cerebral. Pues es verdad que leer requiere infinidad de contribuciones funcionales cerebrales, más allá de los circuitos neuronales que específicamente están en el corazón de ese proceso. Es esta una idea que se ha venido reiterando repetitivamente a lo largo del texto. Y lo he hecho, conscientemente, porque lo he considerado importante. Leer no es un acto pasivo de absorción de lo que hay escrito en un determinado documento o libro, sino un proceso activo, o recreativo («volver a crear») si se quiere, de lo que allí se describe. Así lo pensaba Schopenhauer (1788-1860) cuando escribió: «Los pensamientos puestos en papel no son, en general, más que las huellas de un paseante en la arena; se ve el camino que ha tomado, pero para ver lo que él ha visto hay que emplear sus propios ojos». Y también lo señaló nuestro Santiago Ramón y Cajal en su libro *Reglas y consejos sobre la investigación científica: los tónicos de la voluntad:* «No olvidemos que por la lectura y meditación de las obras maestras todo hombre es dueño de asimilarse una gran parte del ingenio que las creó, dado que toma de este no solo las doctrinas, sino el criterio, los principios directores y hasta el estilo». Leer significa, pues, activar un amplio arco cognitivo que involucra la curiosidad, la atención, el aprendizaje y la memoria, la emoción, la consciencia y el conocimiento, aspectos todos que hemos considerado a lo largo de los capítulos precedentes.

La lectura es un instrumento que permite descubrir infinitos mundos pintados con las palabras. Es quizás el mejor medio para construir un puente definitivo entre humanidades y ciencia. Precisamente en ese camino de entronque de las dos culturas, ciencia y humanidades, hay una clara desigualdad o desequilibrio social, con un marcado peso negativo para la ciencia. En muchas sociedades la ciencia no tiene un predicamento equivalente al que tienen las humanidades (léase arte, música, pintura, literatura, escultura, arquitectura). Por eso es ya crucial comenzar a leer ciencia en los colegios, ese gran capítulo tan necesario como poco querido en la cultura actual de muchos países. Y es que no cabe duda de que se están abriendo las puertas de esa nueva cultura que venimos llamando neurocultura y que abraza ambas ramas del saber. Una cultura basada en nuestros conocimientos acerca de cómo funciona el cerebro y que ahonda

en las raíces del pensamiento y los sentimientos y sus determinantes personales, sociales y ambientales. Y con ello ya han nacido la neurofilosofía, la neuroética, la neurosociología, la neuroeconomía, la neuroestética, la neuroarquitectura y, más recientemente, la neuroeducación. Y es en esta última donde se encuentran, en base a ese funcionamiento del cerebro, no solo las claves para mejorar los procesos de aprendizaje y memoria y de adquisición de conocimientos, sino el anclaje en ese cerebro (de los niños) de los valores, las normas y los hábitos éticos que deben sostener la conducta de los ciudadanos honestos. Precisamente en el contexto de esta neuroeducación es donde entronca de lleno el contenido de este libro, por cuanto presenta una visión de las bases cerebrales de la lectura y su clara proyección social. Lectura cuyo aprendizaje debería comenzar de forma individual en cada niño, de acuerdo con la disposición de su cerebro, es decir, con la madurez de sus circuitos neuronales para ella y para la emoción y con sus capacidades personales. Iniciar la lectura debe ser un descubrimiento «feliz» para los niños. Un nuevo descubrimiento de mundos, curioso, lleno de alegría, una indagación en las raíces de nuestros misterios humanos a través de esa «inmortalidad hacia atrás» —recordando lo que escribió Umberto Eco— para poder seguir hacia adelante en busca de un mejor y esperanzador futuro.

Pero sin duda un gran aspecto que se extrae de la lectura es, también, el concepto de belleza. La belleza es esa experiencia subjetiva que evoca la lectura de tantos párrafos de buena literatura. Y en verdad leer, en muchos libros, es evocar belleza. Es evocar conocimiento y emoción (placer), esencias básicas de la percepción de la belleza. Belleza es la evocación, a veces embriaguez, que experimenta la persona que lee cuando ese conjunto de símbolos que son las palabras llega a su mente y descarga sus significados y también placeres. Placeres evocados a través de la lectura que no son tanto aquellos que William Shakespeare señalaba como señuelos que «sin razón y como cebo tragado nos mantiene vivos» (comida, bebida, sueño, sexualidad) como esos otros descritos por Kant cuando decía que «el placer de la belleza es un placer de naturaleza más fina, así llamado porque tolera ser disfrutado más largamente, sin saciedad ni agotamiento». «Lo bello —decía Schopenhauer— produce un placer que va más allá de

nuestros deseos, lo bello excita sin duda alguna nuestro deleite, sin que tenga ninguna relación con nuestros fines personales».

La belleza de la lectura de algunos libros se puede experimentar de muchas maneras, incluso puede comenzar a ser sentida mucho antes de iniciarla. Ya la propia predisposición a la lectura, con el libro entre las manos, su propia historia, su presentación, nos puede llevar a anticipar esa belleza. Yo, personalmente, he tenido la oportunidad de experimentarlo, y lo dejé escrito, además, en uno de mis libros anteriores. Esto es lo que escribí:

> En una ocasión tuve la oportunidad de ojear, casi página a página, un incunable, un libro único, escrito en latín, original del siglo XII, guardado en cámara acorazada con control de luz, temperatura y humedad. Fue una experiencia difícilmente descriptible, como lo son todas las experiencias profundamente emotivas. Páginas inmensas llenas de palabras viejas, de dibujos y de colores grabados en oro y plata. El tacto de las hojas, la visión de las formas y colores y hasta su olor y el sonido al pasar sus páginas entre mis dedos eran evocadores de un sentimiento placentero, de belleza, único. Miles de pensamientos y sentimientos eran despertados en mi mente como un galopar vertiginoso de caballos en los que generaciones y generaciones de seres humanos pudieron abrir, ojear, leer y admirar aquel libro, esencia del placer más humano.

Sin duda que, junto al conocimiento (ser capaz de conocer conscientemente, subjetivamente) y el placer (sin saciedad ni agotamiento), se requiere un alto grado de refinamiento en la percepción sensorial, que es la que se adquiere con la educación recibida y la cultura en que se vive. Aspectos de la sabiduría, el amor y el placer, que ya indicó San Agustín (354-430) de alguna manera, «porque leyendo —escribió— se puede escoger y escogiendo se puede amar».

Las palabras, pues, o ese conjunto de palabras que forman una frase o un texto, son un atributo único que abraza un universo exclusivamente humano. Las palabras pueden llevar al lector a experimentar ese goce que a veces «nos purifica, recrea, refresca, eleva y fortalece», como señalara Schopenhauer. Las palabras, la lectura, son fuente de ese conocimiento que nos permite, como acabo de señalar en este mismo capítulo, mirar hacia atrás en nuestra historia aprendiendo de quienes nos precedieron y también de sus errores.

La lectura de un libro siempre es única y diferente, tanto por el libro en sí, y quien lo escribe, como por quien lo lee. ¿Cómo, si no, podríamos

interpretar que a una persona le guste un libro que a otras tantas personas les disgusta o a muchas otras las deja indiferentes o no les sugiere nada? ¿Qué hace que un libro llegue a ser aplaudido universalmente por millones de lectores y otro solo lo sea por un lector o un grupo, más o menos numeroso? ¿Qué hace que tanta gente aprecie las descripciones hermosas y serenas de Cervantes, siendo tan diferentes a las evocadoras e inspiradas de los personajes de Shakespeare, a las que también muchos admiran y aprecian? La lectura de muchos libros tiene ese inmenso atractivo porque de ella se extrae belleza, y la belleza es una experiencia individual, elaborada en el cerebro de modo siempre diferente en cada persona que la siente. Una obra de arte, sea una pintura, una escultura o las páginas de un determinado libro, no posee belleza en sí misma. La belleza es un atributo nuevo que no poseen los objetos que representan arte. La belleza es uno de los prodigios del cerebro, pues la crea cada ser humano con su propio cerebro. ¿Y qué podemos señalar del modo en que el lector lee? Hay lectores que leen «a sorbos», saboreando lentamente cada frase como se saborea una buena taza de café. Otros lo hacen rápido, pero con mirada suave, como cuando se desliza la vista por un prado verde, amplio y húmedo. Y otros lo hacen como si fuese un andar «rocoso», en desequilibrio constante, buscando, y no siempre encontrando, el sentido último de lo escrito. Pero cada lector extrae un «mensaje único y diferente», personal, de lo que en sentido estricto está en lo escrito, acorde con las memorias acumuladas a lo largo de su propia vida.

Es claro pues que en ese intenso tráfico de información que incluye letras, sílabas, palabras (ortografía y fonología), léxico (vocabulario), semántica (significado), frases (sintaxis) y texto (sintaxis, prosodia, emoción, inferencias, metáforas), bien cocinado al vapor de ese exitoso ingrediente neuronal fundamental del cerebro humano que llamamos conciencia, se genera un mundo infinito que enriquece la vida humana. Pero es verdad también que, aun así, todavía nos quedan muchas preguntas por responder, tantas como las que podrían formularse en torno a lo que es, en términos neurobiológicos, la propia conciencia humana. Lo que hemos venido describiendo y repasando a lo largo de las páginas precedentes de

este libro es solo un bosquejo hecho a trazo grueso. El cuadro trazado con pincel fino es la historia todavía por hacer.

GLOSARIO

Parte de este glosario ha sido extraído del *Diccionario de neurociencia* de Francisco Mora y Ana María Sanguinetti (Alianza Editorial, Madrid 2004).

ACTO MOTOR. Serie de movimientos que se expresan en la conducta y que pueden ser voluntad del individuo (conscientes) o inconscientes.

AMBIOMA. Conjunto de elementos no genéticos, cambiantes, que rodean al individuo y que, junto con el genoma, conforman el desarrollo y la construcción del ser humano o pueden determinar la aparición de una enfermedad.

AMÍGDALA. Estructura cerebral en forma de almendra compuesta por un conjunto de núcleos de características histológicas diferentes. Está situada en el seno del lóbulo temporal. Forma parte, junto al hipotálamo, el septum, el hipocampo y otras estructuras del sistema límbico, de los circuitos que participan en la elaboración de la emoción y motivación y en el control del sistema nervioso autónomo o vegetativo.

ANAGRAMA. Cambio en el orden de las letras de una palabra o frase que da lugar a otra palabra o frase distinta, o palabra o frase resultante de un cambio en el orden de las letras. Ejemplo: «amor-roma».

APOFENIA. Sensación consciente que permite distinguir caras o figuras en un conjunto de líneas borrosas en las que no están representadas como tales.

ÁREA CEREBRAL. Región del cerebro determinada por sus características anatómicas (lugar), histológicas, funcionales u otras.

ÁREA CORTICAL. Superficie delimitada de la corteza cerebral tipificada por sus características histológicas y (no siempre) por su función. Se distinguen las áreas corticales sensoriales, motoras y de asociación.

ÁREAS DE BRODMANN. Mapa de áreas de la corteza cerebral, descritas por Brodmann en 1909. En base al patrón citoarquitectural, la corteza queda dividida en 11 regiones principales y 52 áreas menores, cada una

con su nombre. Estas áreas no se corresponden con funciones específicas, y además áreas diferentes comparten igual función. Se encuentran ampliamente citadas a lo largo de todo el texto y representadas en la figura 1.

ASTROCITOS. Célula con numerosas prolongaciones que le dan forma estrellada. Son células que participan activamente en la homeostasis del sistema nervioso central para el normal funcionamiento de la neurona. Intervienen en los mecanismos de plasticidad neuronal, producción de mediadores inmunológicos, factores de crecimiento nervioso y precursores metabólicos de la síntesis de neurotransmisores (glutamina, precursor de glutámico y GABA).

ATENCIÓN. Proceso neuropsicológico que predispone para seleccionar, entre varios estímulos, aquel al que responder.

AXÓN. Fibra que surge del cuerpo de las neuronas y que generalmente conserva el mismo diámetro a lo largo de todo su trayecto. El axón conduce los potenciales de acción hacia la siguiente neurona con la que se comunica.

CAMPO RECEPTIVO SENSORIAL. Área de la periferia en donde un estímulo influye (inhibe o excita) en el disparo espontáneo de una neurona.

CAMPO VISUAL. Porción del espacio captada por el ojo cuando la mirada se halla fija en un punto situado frente al individuo. Estaría determinado por un cuadrado o un rectángulo imaginario en el que se sitúan los elementos vistos.

CEREBELO. Órgano que desempeña un importante papel en el control de la actividad motora voluntaria, tanto en la planificación del acto motor como en la corrección del mismo durante su realización. Es base de la memoria implícita y otras funciones cognitivas.

CEREBRO HOLÍSTICO. RAE: Holístico: perteneciente al holismo. Holismo: doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de las partes que lo componen.

CODIFICACIÓN. En neurobiología, y en general, se refiere al mensaje en forma de patrones de descarga y frecuencias de potenciales de acción con los que se transfiere información de unas áreas a otras del sistema nervioso central. En neurofisiología sensorial alude a la transformación por los receptores de un tipo de energía determinado (luz, sonido,

mecánico) en frecuencia y patrón de descarga eléctrica de las fibras nerviosas (mensaje codificado).

CÓDIGO. Serie de símbolos o reglas usados con significado específico y que conforman un sistema de comunicación.

COEFICIENTE DE ENCEFALIZACIÓN. Proporción entre el peso real del cerebro (expresado en gramos) de un determinado mamífero y el peso de cerebro esperado para ese mismo mamífero si se lo comparara con un estimado obtenido de relacionar peso de cerebro-peso de cuerpo de una amplia muestra de todos los tipos de mamíferos vivientes. El ser humano posee el coeficiente de encefalización más alto de toda la escala de los seres vivos, siendo su peso siete veces mayor que el cerebro de cualquier otro mamífero vivo de igual o similar peso corporal.

COGNITIVO, PROCESO. Proceso mediante el cual se tiene conocimiento (consciente) de un acontecimiento del mundo interno (personal) o externo (sensorial).

CONSONANTE. Signo que representa gráficamente un sonido y articulación consonánticos (RAE).

CORTEZA CEREBRAL. Capa neuronal de la superficie externa cerebral del hombre y los organismos superiores. En el hombre su superficie total es de unos 2.200 cm^2 y su espesor oscila entre 1,3 y 4,5 mm, con un volumen de 600 cm^3. Típicamente se diferencian seis capas, que existen en más del 90% del total de la corteza.

CORTEZA CINGULADA. Zona media de la corteza cerebral que forma parte del sistema límbico y se relaciona con los mecanismos cerebrales vinculados a los procesos de emoción, atención y cognición.

CORTEZA DE ASOCIACIÓN. Áreas de la corteza cerebral no directamente involucradas en el procesamiento de información primaria sensorial y motora. Son áreas polisensoriales y multifuncionales relacionadas con los procesos cognitivos.

CORTEZA FRONTAL. Toda la corteza del lóbulo frontal, lo que incluye todo el polo anterior de los hemisferios cerebrales desde la cisura de Rolando.

CORTEZA INFEROTEMPORAL. Área del lóbulo temporal que forma parte de la vía de procesamiento de la información visual. Las neuronas de esta área responden solo a objetos o formas complejas, como caras,

manos u objetos no comunes (un cepillo). Se corresponde con el área 20 de Brodmann.

CORTEZA OCCIPITAL. Zona de la corteza cerebral situada en la parte posterior del cerebro y que contiene las principales áreas de procesamiento de la información visual.

CORTEZA PARIETAL. Corteza relacionada con sensaciones somáticas, lenguaje y procesamiento y control visoespacial.

CORTEZA PREFRONTAL. Corteza de asociación situada en la parte más rostral del lóbulo frontal. Entre las muchas funciones en las que interviene se encuentran el control del mundo emocional a través del sistema límbico, la memoria operativa o funcional *(working memory)*, la programación o planificación del acto motor voluntario y de actos que se realizarán en un futuro y la función inhibitoria de influencias tanto externas como internas.

CORTEZA SOMATOSENSORIAL PRIMARIA. Zona cortical relacionada con la percepción fina, discriminativa, del tacto, dolor, temperatura y sensibilidad cinestésica. Se corresponde con las áreas 3, 2 y 1 de Brodmann.

CORTEZA SOMATOSENSORIAL SECUNDARIA. Área cortical adyacente a la corteza somatosensorial primaria localizada en el giro postcentral. Se corresponde con parte del área 2 de Brodmann.

CORTEZA TEMPORAL. Parte de la neocorteza relacionada con el procesamiento de la información auditiva y visual, las emociones y la memoria declarativa.

CORTEZA VISUAL. Parte de la corteza cerebral situada en el polo occipital y relacionada con la visión.

CORTEZA VISUAL NO ESTRIADA. Corteza visual que por definición se encuentra fuera de la corteza visual primaria (V1) o estriada. Se corresponde principalmente con las áreas 18 y 19 de Brodmann. Contiene neuronas con múltiples y diferentes campos receptivos visuales.

CORTEZA VISUAL PRIMARIA O ESTRIADA. Corteza visual que corresponde con el área 17 de Brodmann (V1). Recibe aferencias directas del tálamo. Contiene neuronas cuyos campos receptivos responden a barras de luz (diferentes orientaciones) o puntos de luz de diferentes longitudes de onda.

CUERPO CALLOSO. Banda de fibras o axones (en número de un millón aproximadamente) que permiten la comunicación de información constante entre ambos hemisferios cerebrales, derecho e izquierdo, dando lugar a un solo cerebro funcional real.

DENDRITA. Parte ramificada de la neurona donde se realizan sinapsis. Desde las dendritas la información es transmitida al cuerpo neuronal para ser integrada.

DECODIFICACIÓN. Mecanismos neuronales de ciertas áreas del cerebro capaces de analizar el código de señales o mensajes (frecuencia de potenciales de acción) enviados por el receptor ante un determinado estímulo, desde los órganos de los sentidos o de un área a otra del cerebro.

DISLEXIA. Síndrome o conjunto de síntomas que dan lugar a un nivel de lectura inferior al que le corresponde por edad o coeficiente intelectual al individuo que lo padece y que no está asociado a trastornos sensoriales o retraso mental.

DOPAMINA. Neurotransmisor del grupo de las catecolaminas. Se encuentra localizado en varias vías neuroquímicas del cerebro (vías nigrostriatal, mesolímbica y mesocortical). Se considera un mediador de las vías de recompensa del cerebro. Los déficits o la hiperactividad de este neurotransmisor han sido relacionados con la enfermedad de Parkinson y con la esquizofrenia.

EMOCIÓN. Reacción conductual inconsciente producida por una información proveniente del mundo externo o interno (memoria) del individuo que afecta a casi todas las funciones del cerebro e influye en ellas. Se acompaña de fenómenos neurovegetativos. Las emociones son codificadas en el sistema límbico o cerebro emocional.

EPIGENÉTICA. Marcaje y cambio de función del ADN (genes) por metilación o acetilación de la cromatina del núcleo (histonas) cuya consecuencia es la inhibición o activación de la expresión de algunos genes de las neuronas, lo que deriva en el cambio de funciones específicas del cerebro.

FASCÍCULO ARCUATO. Haz de fibras que une los territorios de Wernicke con los territorios de Broca. Su lesión provoca afasia de conducción.

FILOGENIA. Parte de la biología que estudia la relación entre los distintos grupos de seres vivos y el origen y desarrollo de las especies.

FONEMA. Unidad fonológica que no puede dividirse en unidades sucesivas menores. Ejemplo: la palabra «paz» está compuesta por tres fonemas (la pronunciación, el sonido de «p», «a» y «z» son fonemas).

FONÉTICA. Conjunto de los sonidos de un idioma. Es la parte de la gramática que estudia los mecanismos de producción y percepción de la señal sonora que constituye el habla y trata de establecer una relación unívoca entre los sonidos y su representación escrita.

FOTORRECEPTOR. Célula sensorial de la retina. Se conocen dos tipos: el bastón (sensible a las variaciones de iluminación) y el cono (visión diurna, colores).

FRASE. Conjunto de palabras que constituyen un enunciado.

GANGLIOS BASALES. Masa cerebral situada en la base de los hemisferios cerebrales (de ahí su nombre). Los constituyen los núcleos caudado y putamen (ambos reciben el nombre de «cuerpo estriado») y el globus pallidus. Los ganglios basales reciben información de grandes áreas de la corteza cerebral y del sistema límbico. Su función está relacionada con la planificación del acto motor y la memoria motora procedural (hábito).

GENOMA. Conjunto completo del material genético (del ADN) de la célula. Es el número básico de cromosomas.

GLÍA. Término genérico para referirse a las células no neurales del sistema nervioso central.

GRAFEMA. Unidad mínima e indivisible de la escritura de una lengua («a», «b», «c» son grafemas).

GRAMÁTICA. Parte de la lingüística que estudia los elementos de una lengua, así como la forma en que estos se organizan y se combinan.

HEMISFERIO CEREBRAL. Cada uno de los dos grandes lóbulos anterodorsales del telencéfalo del cerebro de los vertebrados (hemisferio cerebral derecho y hemisferio cerebral izquierdo).

HIPOCAMPO. Circunvolución situada en la región anteromedia del lóbulo temporal, que resulta de la internalización, en los mamíferos, de un córtex arcaico desarrollado en reptiles y mamíferos primitivos. Forma parte del sistema límbico. Estructura fundamental en el registro de diferentes tipos de memorias.

INFERENCIA. Deducir algo o sacarlo como conclusión de otra cosa.

JUEGO. Conducta que en la persona adulta persigue la consecución de un objetivo con el que se obtiene una recompensa o placer.

LECTOESCRITURA. Enseñanza y aprendizaje de la lectura simultáneamente con la escritura. Es la capacidad de leer y escribir.

LENGUAJE. Facultad del ser humano de expresarse y comunicarse con los demás a través del sonido articulado o de otros sistemas de signos.

LETRA. Cada uno de los signos gráficos que componen el alfabeto de un idioma.

LEXEMA. Unidad con significado de una palabra. Ejemplo: «panadero», lexema = «pan».

LÉXICO. Vocabulario o conjunto de las palabras de un idioma o de las que son propias del uso de una región, de una actividad determinada o de un campo semántico dado.

LINGÜÍSTICA. Estudio teórico del lenguaje que se ocupa de métodos de investigación y de cuestiones comunes a las diversas lenguas.

LÓBULOS CEREBRALES. Subdivisión de las diferentes partes anatómicas y funcionales en ambos hemisferios cerebrales derecho e izquierdo: lóbulos parietal, frontal, occipital y temporal.

MAGNETOENCEFALOGRAFÍA. Procedimiento basado en el registro dinámico de los campos magnéticos débiles que se generan por los movimientos de cargas eléctricas cerebrales. Es un método complementario al electroencefalograma que tiene la ventaja de que dichos campos magnéticos son filtrados por el cráneo mejor que las ondas de los registros encefalográficos.

MEMORIA DE TRABAJO O ACTIVA. Concepto que hace referencia a un tipo de memoria cuya información se mantiene mientras es procesada. Se piensa que es una colección de capacidades temporales asociadas a modalidades diferentes.

METÁFORA. Traslación del sentido recto de una voz a otro figurado.

MIELINA. Sustancia que forma una vaina que rodea ciertas fibras nerviosas, compuesta por capas regularmente alternadas de lípidos (80%) y proteínas (20%). La mielina permite la eficiencia de la conducción de señales nerviosas a lo largo de grandes distancias.

MORFEMA. Es la unidad mínima de una palabra capaz de expresar un significado gramatical. Complementa al lexema con terminaciones

(género, número, aumentativo, diminutivo). Ejemplo: «casita», morfema = «–ita»).

NERVIO ÓPTICO. Está constituido por los axones de las neuronas ganglionares de la retina que llegan hasta los ganglios geniculados laterales y calículo superior en el tálamo.

NEURODIVERSIDAD. Resultado de la pluralidad y variedad de los seres humanos a lo largo del proceso evolutivo, bien biológico, cultural o social, para el mantenimiento de la supervivencia personal y del grupo.

NEUROEDUCACIÓN. Ciencia que aprovecha el funcionamiento del cerebro para aplicar este conocimiento a la instrucción (aprender y memorizar) y la educación (valores, normas y hábitos éticos).

NEURONA. Célula nerviosa completa, lo que incluye el cuerpo celular y sus prolongaciones (dendritas y axón). Es la unidad morfofuncional básica del sistema nervioso.

NEURONA GANGLIONAR DE LA RETINA. Neurona de la retina cuyos axones conforman el nervio óptico. Integra toda la información visual analizada por el resto de las neuronas retinianas y la envía al tálamo.

ONTOGENIA. Proceso de formación y desarrollo de un organismo, independientemente de su filogenia.

ORTOGRAFÍA. Conjunto de normas que regulan la escritura de una lengua.

PALABRA. Unidad lingüística, dotada generalmente de significado, que se separa de las demás mediante pausas en la pronunciación y blancos en la escritura.

PALÍNDROMO. Palabra o frase que se lee igual hacia delante que hacia atrás. Ejemplos: «ojo-ojo», «dábale arroz a la zorra el abad-dábale arroz a la zorra el abad».

PERÍODOS CRÍTICOS. Véase *Ventana plástica*.

PLASTICIDAD CEREBRAL. Cambios producidos en el sistema nervioso como resultado de la experiencia (aprendizaje), de lesiones o de procesos degenerativos. La plasticidad se expresa como modificación de las sinapsis, proliferación dendrítica o axonal y cambios en las densidades o dinámica de los canales iónicos.

POTENCIACIÓN A LARGO PLAZO (LTP). Aumento y facilitación de larga duración de la transmisión sináptica producida tras una estimulación breve repetida pero de alta frecuencia. Descrita en el

hipocampo y otras estructuras cerebrales con alta concentración de receptores NMDA. Actualmente se la considera una posible base neurobiológica de la memoria.

POTENCIAL EVOCADO. Cambios transitorios de potencial registrados por electrodos externos (cuero cabelludo) en respuesta a un estímulo sensorial. Es el resultado de la actividad multineuronal de una región determinada del cerebro. Es un registro electroencefalográfico complejo, compuesto de ondas positivas y negativas y con una duración variable de cientos de milisegundos.

PRELÉXICO. Procesamiento en el que una señal (acústica o visual en el caso de la lectura) es transformada en una representación lingüística, permitiendo así su incorporación al léxico (vocabulario y significado).

PROSODIA. Parte de la gramática que enseña la recta pronunciación y acentuación. Estudio fonético y fonológico de los elementos que se refieren a unidades superiores al fonema, como las sílabas u otras secuencias de la palabra u oración.

PSEUDOPALABRA. Palabra que puede ser de construcción ortográfica y pronunciación correctas pero carente de significado. Ejemplo: «píscoli» o «poneplia».

RED NEURONAL. Interconexiones entre neuronas que codifican para una determinada función.

Resonancia Magnética funcional. Técnica sensible a los cambios de flujo sanguíneo cerebral asociados a la actividad neuronal. Usa las propiedades paramagnéticas de la desoxihemoglobina endógena como marcador.

RETINA. Parte más anterior y externa del sistema visual. Histológicamente se distinguen varias capas situadas entre el epitelio pigmentado (más profundo) y las fibras del nervio óptico. Contiene cinco tipos básicos de neuronas: fotorreceptores (conos y bastones), neuronas bipolares, neuronas horizontales, neuronas amacrinas y neuronas ganglionares.

SEMÁNTICA. Significado de las unidades lingüísticas (palabras) y de sus combinaciones.

SÍLABA. Unidad de la lengua compuesta por uno o más sonidos articulados que se agrupan en torno al de mayor sonoridad, que por lo común es una vocal.

SINAPSIS. Término acuñado para significar la unión o contacto entre dos neuronas. El número de sinapsis de cada neurona varía ampliamente, pero suele oscilar entre 5.000 y 90.000.

SINTAXIS. Parte de la gramática que estudia el modo en que se combinan las palabras y los grupos que estas forman para expresar significados.

SISTEMA LÍMBICO («CEREBRO EMOCIONAL»). Concepto genérico de delimitaciones anatómicas y funcionales imprecisas. Hace referencia al conjunto de áreas cerebrales a las que se les supone formando circuitos que codifican el mundo personal de la emoción (placer, rabia, agresividad, etc.) y la motivación (ingesta de agua y alimentos, actividad sexual, etc.). Estas incluyen: giro del cíngulo, giro parahipocámpico, hipocampo, amígdala, septum, núcleo accumbens, hipotálamo y corteza orbitofrontal. Hoy se habla de la importante labor de este sistema en el procesamiento de las altas funciones cognitivas en la corteza cerebral.

SUSTANCIA GRIS. Regiones del sistema nervioso central que aparecen de color grisáceo debido a la gran concentración de cuerpos neuronales. Ocupa la región superficial del encéfalo (corteza), la parte central de la médula espinal y la sustancia gris central.

TEXTO. Enunciado o conjunto coherente de enunciados orales o escritos.

TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES (PET). Imagen tomográfica que utiliza radioisótopos de átomos que emiten positrones. La colisión de estos positrones con los electrones de carga negativa produce una emisión de rayos gamma cuyo rastreo mide y analiza un sistema computadorizado.

TRONCO DEL ENCÉFALO. Porción del sistema nervioso situada inmediatamente por encima de la médula y que comprende el bulbo, el puente y el mesencéfalo.

VENTANA PLÁSTICA O PERÍODOS CRÍTICOS. Concepto general que alude a un momento del desarrollo importante (duración) y a veces irreversible para una determinada función normal. Procesos individuales de maduración y puesta en marcha de funciones diferentes que comienzan en un determinado momento de tiempo y tras, supuestamente, haber desarrollado esa función específica en su interacción con el medio ambiente, se cierran. Son períodos durante los cuales el individuo debe tener una relación adecuada con su entorno específico para poder desarrollar ciertas capacidades. Ocurren a lo largo

de todo el desarrollo del arco vital humano, desde el nacimiento hasta la vejez. Quizá una de las ventanas plásticas más paradigmáticas en el ser humano es la del lenguaje, porque la receptividad al aprendizaje de una lengua concreta (lengua materna) se abre con el nacimiento y se cierra cuando el niño alcanza entre los 7 y los 12 años.

VOCABULARIO. Conjunto de palabras de un idioma.

VOCAL. Signo que representa gráficamente un sonido y articulación vocálicos.

BIBLIOGRAFÍA

Agustín, San, *Confesiones.* Alianza Editorial, Madrid 2011.

Armstrong, T., *The Power of Neurodiversity: Unleashing the Advantages of Your Differently Wired Brain.* Da Capo Lifelong Books 2011.

Baker, C. I., Kanwisher, K., Liu J., Wald, L. L., Kwong, K. K., Benner, T., y Kanwisher N., «Visual word processing and experiential origins of functional selectivity in human extrastriate cortex». *PNAS* 104, 9087-9092 (2007).

Barnett, W. S., «Efectiveness of early educational intervention». *Science* 333, 975-978 (2011).

Bavelier, D., Corina, D., Jezzard, P., Padmanabhan, S., Clark, V. P., Karni, A., Prinster, A., Braun, A., Lalwani, A., Rauschecker, J. P., Tuerner, R., y Neville, H., «Sentence reading: A functional MRI Study at 4 Tesla». *J. Cognitive Neuroscience* 9, 664-686 (1997).

Bernárdez, E., *Viaje lingüístico por el mundo. Iniciación a la tipología de las lenguas.* Alianza Editorial, Madrid 2016.

Bernhardt, B. C., y Singer, T., «The basis of empathy». *Ann. Rev. Neurosci.* 35, 1-23 (2012).

Berwick, R. C., Friederici, A. D., Chomsky, N., y Bolhuis, J., «Evolution, brain, and the nature of language». *Trends in Cognitive Sciences* 17, 89-98 (2012).

Braze, D., Mencl, E., Tabor, W., Pugh, K. R., Constable, R. T., Fulbright, R. K., Magnuson, J. S., Van Dyke, J., y Shankweiler, P., «Unification of sentence processing via ear and eye: An fMRI study». *Cortex* 47, 416-431 (2011).

Brodmann, K., «Beiträge zur histologischen lokalisation der grosshirnrinde Imitteilung: Die Regio Rolandica». *Journal für Psychologie und Neurologie* 2, 79-107 (1903).

Brody, L. E., y Mills, C. J., «Gifted children with learning disabilities: A review of the issues». *J. Learning Disabilities* 30, 282-296 (1997).

Brugger, P., y Taylor, K. I., «Extrasensory perception or effect of subjective probability». *J. Consciousness Studies* 10, 221-246 (2003).

Bryant, P., y Bradley, L., *Problemas infantiles de lectura.* Alianza Editorial, Madrid 1985.

Burton, H., Snyder, A. Z., Conturo, T. E., Akbudake, E., Ollenger, J. M., y Raichle, M. E., «Adaptative changes in early and late blind: A fMRI study of Braille reading». *J. Neurophysiol.* 87, 589-607 (2002).

—, Snyder, A. Z., Diamond, J. B., y Raichle, M. E., «Adaptive changes in early and late blind: A fMRI study of verbe generalization to heard nouns». *J. Neurophysiol.* 88, 3359-3371 (2002).

Calderón de la Barca, P., *La vida es sueño.* Alianza Editorial, Madrid 2006.

Camus, A., *El mito de Sísifo.* Alianza Editorial, Madrid 2017.

Carreiras, M., Armstrong, B. C., Perea, M., y Frost, R., «The what, when, where and how of visual word recognition». *Trends in Cognitive Sciences* 18, 90-98 (2014).

—, Seghier, M. L., Baquero, S., Estévez, A., Lozano, A., Devlin, J. T., y Price, C. J., «An anatomical signature for literacy». *Nature* 461, 983-986 (2009).

Cervantes, M. de, *Don Quijote de la Mancha.* Instituto Cervantes 2005.

Chomsky, N., *Language and the Mind.* Harcourt, Nueva York 1968.

Christie, A., *Cita con la muerte*. Rialp, Madrid 2013.

Cohen, L., y Dehaene, S., «Specialization within the ventral stream: The case for the visual word form area». *NeuroImage* 22, 466-476 (2004).

Cuetos, F., Suárez-Coalla, P., Molina, M. I., y Llenderrozas, M. C., «Test para la detección temprana de las dificultades en el aprendizaje de la lectura y escritura». *Pediatría Atención Primaria* 17, e99-e107 (2015).

Curtis, S., Fromkin, V., Krashen, S., Rigler, D., y Rigler, M., «The linguistic development of Genie». *Language* 50, 528-555 (1974).

Cutting, L. E., Clements, A. M., Courtney, S., Rimrodt, S. L., Shaffer, J. G. B., Bisesi, J., Pekar, J. J., y Pugh, K. R., «Differential components of sentence comprehension: Beyond single word reading ad memory». *Neuroimage* 29, 429-428 (2006).

Darwin, C., *The origin of species.* Gramercy Books, Nueva York 1979.

— *La expresión de las emociones en el hombre y los animales.* Alianza Editorial, Madrid 1999.

— *The Darwin Compendium.* Barnes & Noble, Nueva York 2005.

Dehaene, S., *Reading in the brain.* Penguin Books, Nueva York 2009.

— y Cohen, L., «The unique role of the visual word form area in reading». *Trends in Cognitive Sciences* 15, 254-262 (2011).

—, Cohen, L., Norais, J., y Kolinsky, R., «Illiterate to literate: Behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition». *Nature Rev. Neurosci.* 16, 234-244 (2015).

—, Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Filho, G. N., Jobert, A., Dehaene-Lambertz, G., Kolinsky, R., Morais, J., y Cohen, L., «How learning to read changes the cortical networks for vision and language». *Science* 330, 1359-1364 (2010).

Fangiolini, M., Jensen, C. L., y Champagne, F. A., «Epigenetic influences on brain development and plasticity». *Curr. Opinion in Neurobiol.* 19, 1-6 (2009).

Fiez, J. A., y Petersen, S. E., «Neuroimaging studies of word reading». *Proc. Natl. Acad. Sci* 95, 914-921 (1998).

Fisher, S. R., *Breve historia del lenguaje.* Alianza Editorial, Madrid 1999.

Friederichi, A. D., Ruschemeyer, S. A., Hahne, A., y Fiebach, C. J., «The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: Localizing syntactic and semantic processes». *Cerebral Cortex* 13, 170-177 (2013).

Frost, R., «Towards a universal model of reading». *Behavioral and Brain Sciences* 35, 263-329 (2012).

Gabrieli, J. D. E., «Dyslexia: A new synergy between education and cognitive neuroscience». *Science* 325, 280-283 (2009).

Gewnhi, P., y Thayer, J. F., «From the heart to the mind: Cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception ad attention to emotional stimuli». *Front. in Psychol.* 5, 278-285 (2014).

Gilbert, Ch. D., y Li, Wu., «Top-down influences on visual processing». *Nature Rev. Neurosci.* 14, 350-363 (2013).

Goswami, U., «Sensory theories of developmental dyslexia: Three challenges for research». *Nature Rev. Neurosci.* 16, 43-54 (2015).

Gruber, M. J., Gelman, B. D., y Ranganath, Ch., «States of curiosity modulate hippocampus-dependent learning via the dopaminergic circuit». *Neuron* 84, 486-496 (2014).

Haeckel, E., *The evolution of man.* Watts, Londres 1906.

Halperin, H., «The influences of environmental enrichment». *Neuroscienci. Biobehav. Re.* 35, 621-634 (2011).

Han, S., y Northoff, G., «Culture-sensitive neural substrates of human cognition: A transcultural neuroimaging approach». *Nature Rev. Neurosci*. 9, 646-654 (2008).

Hart, S., *El lenguaje de los animales.* Alianza Editorial, Madrid 1996.

Hervais-Adelman, A., Kumar, U., Mishra, R. K., Tripathi, V. N., Guleria, A., Singh, J. P., Eisner, F., y Huetting, F., «Learning to read recycles visual cortical networks without destruction». *Science Advances* (2019). DOI: 10.1126/sciadv.aax0262.

Heyes, C. M., y Frith, Ch. D., «The cultural evolution of mind reading». *Science* 344, 1357 (2014).

Hines, P. M., Wible, B., y Mccartney, M. (eds.), «Learning to Read, Reading to Learn: Science, language and literacy». *Science* 328, 447-466 (2010).

Hobbes, T., *Tractatus Opticus, Cogitata Physico-Mathematica* (1644). Mersenne, British Museum, Harleian MS 6796, oh 2, sec 1).

Horowitz-Kraus, T., Vannest, J. J., Kadis, D., Cicchino, N., y Wang, Y. Y., «Reading acceleration training changes brain circuitry in children with reading difficulties». *Brain and Behavior* 4, 886-902 (2014).

Houston, S. M., Lebel, C. L., Katzir, T., Manis, F. R., Kan, E., Rodriguez, G. G., y Sowell, E. R., «Reading skill and structural brain development». *NeuroReport* 25, 347-352 (2014).

Howard-Jones, P. A., «Neuroscience and education: Myths and messages». *Nature Rev. Neurosci.* 15, 817-824 (2014).

Hubel, D. H., *Eye, brain and vision.* Scientific American Library, Nueva York 1988.

Huth, A. G., DeHeer, A., Griffith, F. E., y Galllant, J. L., «Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex». *Nature* 532, 453-458 (2016).

Itti, L., y Koch, C., «Computational modelling of visual attention». *Nature Rev. Neurosci.* 2, 194-203 (2001).

Jean, G., *La escritura. Memoria de la humanidad.* Ediciones B, Barcelona 1998.

Just, M. A., Carpenter P. A., Keller, T. A., Eddy, W. F., y Thulborn, K. R., «Brain activation modulated by sentence comprehension». *Science* 274,

114-116 (1996).
Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., y Hudspetth, A. J., *Principles of neural science.* McGraw Hill, Nueva York 2013.
Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T., y Camerer, C. F., «The wick in the candle of learning. Epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory». *Psychological Science* 20, 963-973 (2013).
Kant, I., *Observaciones acerca del sentimiento de lo bello y lo sublime.* Alianza Editorial, Madrid 2015.
Kenneally, C., *La primera palabra. La búsqueda de los orígenes del lenguaje.* Alianza Editorial, Madrid 2009.
Kherif, F., Josse, G., y Price, C. J., «Automatic top-down processing explains common left occipito-temporal responses to visual words and objects». *Cerebral Cortex* 21, 103-114 (2011).
Kosak-Babuder, M., Kormos, J., Ratajczak, M., y Pizorn, K., «The effect of read-aloud assistance on the text comprehension of dyslexic and non-dyslexic English language learners». *Language Testing* 36, 51-75 (2019).
Krafnick, A., Flowers, D., Napoliello, E., y Eden, G., «Gray matter volume changes following reading intervention in dyslexic children». *Neuroimage* 57, 733-741 (2011).
Kramer, S. N., *La historia empieza en Sumer.* Alianza Editorial, Madrid 2019.
Kuffler, S. W., y Nicholls, J. G., *From Neuron to Brain.* Library of Congress, Sunderland 1976.
Kuhl, P. K., y Damasio, A. R., «Language». En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum y A. J. Hudspeth, *Principles of neural science* (5.ª ed.). McGraw Hill, Nueva York 2013.
Kujala, T., Karma, K., Caponiene, R., Belitz, S., Tervanieme, M., y Näatanen, R., «Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children». *PNAS* 98, 10509-10514 (2001).
Landi, N., Frost, S. J., Menci, W. E., Sandak, R., y Pugh, K. R., «Neurobiological bases of reading comprehension: Insights from neuroimaging studies of word-level and text-level processing in skilled

and impaired readers». *Reading and Weitting Quaterly* 29, 145-167 (2013).

Lau, H., C., Rogers, R. D., Haggard, P., y Passingham, R. E., «Attention to intention». *Science* 303, 208-210 (2004).

LeDoux, J. E., «Emotion circuits in the brain». *Ann. Rev. Neurosci.* 23, 155-184 (2000).

López-Barroso, D., Catani, M., Ripollés, P., Dell'Acqua, F., Rodríguez-Fornells, A., y De Diego-Balaguer, R., «Word learning s mediated by the left arcuate fasciculus». *PNAS* 110, 13168-13173 (2013).

Lorenz, K., *La acción de la naturaleza y el destino del hombre.* Alianza Editorial, Madrid 1988.

Manguel, A., *Diario de lecturas.* Alianza Editorial, Madrid 2007.

— *Una historia de la lectura.* Alianza Editorial, Madrid 2013.

Martín Municio, A., *Biología del habla y del lenguaje.* Discurso de recepción en la Real Academia de la Lengua (29 de enero de 1984).

Maurer, U., Brem, S., Kranz, F., Bucher, K., Bentz, R., Halder, P., Seinhausen, H.-C., y Brandeis, D., «Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read». *NeuroImage* 33, 749-758 (2006).

McRae, K., Misra, S., Prasad, A. K., y Grosss, J. J., «Botom-up and top-down emotion generation: Implications for emotion regulation». *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 7, 253-262 (2012).

Melzer, P., Morgan, V. L., Pickens, D. R., Price, R. R., Wall, R. S., y Ebner, F. F., «Cortical activation during Braille reading is influenced by early visual experience in subjects with visual disability. A correlational fMRI». *Human Brain Mapping* 14, 186-195 (2001).

Mohanty, A., y Sussman, T. J., «Top-down modulation of attention by emotion». *Frontiers in Human Neuroscience* 7, 1-7 (2013).

Mora, F., *Neurocultura. Una cultura basada en el cerebro.* Alianza Editorial, Madrid 2007.

— *El reloj de la sabiduría. Tiempos y espacios en el cerebro humano.* Alianza Editorial, Madrid 2008.

— *El Dios de cada uno.* Alianza Editorial, Madrid 2011.

— *Neuroeducación.* Alianza Editorial, Madrid 2017.

— *¿Cómo funciona el cerebro?* Alianza Editorial, Madrid 2017.

— *Mitos y verdades del cerebro.* Paidós, Barcelona 2018.

— *¿Se puede retrasar el envejecimiento del cerebro?* Alianza Editorial, Madrid 2020.
— y Sanguinetti, A. M., *Diccionario de neurociencia.* Alianza Editorial, Madrid 2004.
Norenzayan, A., «Explaining human behavioural diversity». *Science* 332, 1041-1042 (2011).
Norton, E. S., y Wolf, M., «Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: Implications for understanding and treatment of reading disabilities». *Ann. Rev. Psychol.* 63, 427-452 (2012).
Penfield, W., *The excitable cortex in conscious man.* Liverpool University Press, Liverpool 1967.
— y Rasmussen, T., *The cerebral cortex of man. A clinical study of localization of function.* McMillan, Nueva York 1957.
Perfetti, C. A., y Tan, Li-Hai, «Write to read: The brain´s universal reading and writing network». *Trends in Cognitive Sciences* 17, 56-57 (2013).
Pessoa, L., «On the relationship between emotion and cognition». *Nature Review Neurosci.* 9, 148-158 (2008).
—, Oliveira, L., y Pereira, M., «Top-down attention and the processing of emotional stimuli». En J. Armony y P. Vuillemier (eds.), *The Cambridge Handbook of Human Affective Neuroscience,* pp. 357-374. Cambridge University Press, Cambridge 2013.
Petersson, K. M., Reis, A., Askelöf, S., Castro-Caldas, A., e Ingvar, M., «Language processing modulated by literacy: A network analysis of verbal repetition in literate and illiterate subjects». *J. Cognitive Neurosci.* 12, 364-382 (2000).
—, Silva, C., Castro-Caldas, A., y Reis, A., «Literacy: A cultural influence on functional left-right differences in the inferior parietal cortex». *European J. Neurosci.* 26, 791-799 (2007).
Pinker, S., *El instinto del lenguaje.* Alianza Editorial, Madrid 2017.
Piñar, P., Dussias, P. E., y Morford, J. P., «Deaf readers as bilingual: An examination of deaf reader’s print comprehension in light of current advances in bilingualism and second language processing». *Language and Linguistic Compass* S/10, 691-704 (2011).
Posner, M. I., y Raichle, M. E., *Images of Mind.* Scientific American Library, HPHLP, Nueva York 1994.

Price, C. J., «A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speach, spoken language and reading». *Neuroimage* 62, 816-847 (2012).
— y Devlin, J. T., «The myth of the visual word area». *Neuroimage* 19, 473-481 (2003).
— y Mechelli, A., «Reading and reading disturbance». *Current Opinion in Neurobiology* 15, 231-236 (2005).
Proust, M., *Sobre la lectura.* Pre-Textos, Valencia 2002.
Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E., y Shaywitz, B. A., «Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia)». *Mental Retardation and Developmental Disabilities Res. Rev.* 6, 207-213 (2000).
Pulvermüller, F., y Fadiga, L., «Active perception: Sensorimotor circuits as a cortical basis for language». *Nature Rev. Neurosci.* 11, 351-360 (2010).
RAE, *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española.* Madrid 1990.
Raizada, R. D. S., Richards, T. L., Meltzoff, A. N., y Kuhl, P. K., «Socioeconomic status predicts hemispheric specialisation of the left inferior frontal gyrus in young children». *Neuroimage* 40, 1392 (2008).
Ramón y Cajal, S., *Los tónicos de la voluntad: reglas y consejos sobre investigación científica.* Austral, Buenos Aires 1944.
Raschle, N. M., Zuk, J., y Gaab, N., «Functional characteristics of developmental dyslexia in left-hemispheric posterior brain regions predate reading onset». *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 2156-2161 (2012).
Rauschecker, A. M., Deutsch, G. K., Ben-Schachar, M., Schwartzman, A., Perry, L. M., y Dougherty, R. F., «Reading impairment in a patient with missing arcuate fasciculus». *Neuropsychologia* 47, 180-194 (2009).
Reich, L., Szwed, M., Cohen, L., y Amedi, A., «A ventral visual stream reading center independent of visual experience». *Current Biol.* 21, 363-368 (2011).
Rello, L., *Superar la dislexia.* Paidós, Barcelona 2019.
Riddick, B., *Living with dyslexia: The social and emotional consequences of specific learning difficulties/disabilities.* Routledge, Londres 2009.
Robertson, D. A., Gernsbacher, M. A., Guidotti, S. J., Robertson, R. R. W., Irwin, W., Mock, B. J., y Campana, M. E., «Functional neuroanatomy of

the cognitive process of mapping during discourse comprehension». *Psychologicas Sci.* 11, 255-260 (2000).

Rolls, E. T., «Vision, emotion and memory: From neurophysiology to computation». *International Congress Series* 1250, 547-573 (2003).

— y Grabenhorst, F., «The orbitofrontal cortex and beyond: From affect to decision-making». *Progress in Neurobiology* (2008).

Rosazza, C., Cai, Q., Minati, L., Paulignan, Y., y Nazir, T. A., «Early involvement of dorsal and ventral pathways in visual word recognition: An ERP study». *Brain Res.* 1272, 32-44 (2009).

Rueckl, J. G., Paz-Alonso, P. M., Molfese, P. J., Kuo, W. J., Bick, A., Frost, S. J., Hancock, R., Wu, D. H., Menci, W. E., Duñabitia, J. A., Lee, J. R., Oliver, M., Zevin, J. D., Hoeft, F., Carreiras, M., Tzeng, O. J. L., Pugh, K. R., y Frost, R., «Universal brain signature of proficient reading: Evidence from four contrasting languages». *PNAS* 112, 15510-15515 (2015).

Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Deiber, M.-P., Ibáñez, V., y Hallet, M., «Neural networks for Braille reading by the blind». *Brain* 121, 1213-1229 (1998).

—, Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibáñez, V., Deiber, M.-P., Dold, G., y Hallett, M., «Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects». *Nature* 380, 526-528 (1996).

Sahin, N. T., Pinker, S., Cash, S. S., Schomer, D., y Halgren, E., «Sequential processing of lexical, grammatical, and phonological information within Broca's area». *Science* 326, 445-449 (2009).

Sakai, K. L., «Language adquisition and brain development». *Science* 310, 815-819 (2005).

Santamaria, L., Noreika, V., Georgieva, S., Clackson, K., y Wass, S., «Emotional valence modulates the topology of the parent-infant inter-brain network». https://doi.org/10.1016/Jneuroimage.2019.116341.

Savater, F., *El placer de la lectura.* Debate, Madrid 2015.

Schakespeare, W., *The Globe Shakespeare. The complete works.* Glamercy Books, Nueva York 1979.

Schlaggar, B. L., y McCandliss, B. D., «Development of neural systems for reading». *Annu. Rev. Neurosci.* 30, 475-503 (2007).

Schopenhauer, A., *La lectura, los libros y otros ensayos.* Biblioteca Edaf, Madrid 1996.

— *El mundo como voluntad y representación* (2 vols.). Alianza Editorial, Madrid, 2010.

Shimonny, J. S., Burton, H., Epstein, A. A., McLaren, D. G., Sun, S. W., y Snyder, A. Z., «Diffusion tensor imaging reveals white matter reorganization in blind humans». *Cerebral Cortex* 16, 1653-1661 (2006).

Simos, P. G., Fletcher, J. M., Vergman, E., Breier, J. I., Foorman, B. R., Castillo, E. M., Davis, R. N., Fitzgerald, M., y Papanicolau, A. C., «Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training». *Neurology* 58, 1203-1213 (2002).

Skeide, M. A., Kumar, U., Mishra, R. K., Tripathi, V. N., Guleria, A., Singh, J. P., Eiesner, F., y Huetting, F., «Learning to read alters cortico-subcortical cross-talk in the visual system of illiterates». *Science Advances* 3, 1-7 (2017).

Small, S., Flores, D., y Noll, D., «Different neural circuits subserve reading before and after theraphy for adquired dyslexia». *Brain and Language* 62, 298-308 (1998).

Stiern-Amit, E., Cohen, L., Dehaene, S., y Amedi, A., «Reading with sounds: Sensory substitution selectively activates the visual word form area in the blind». *Neuron* 76, 640-652 (2012).

Thiebaut de Schotten, M., Cohen, L., Amemiya, E., Braga, L. W., y Dehaene, S., «Learning to read improves the structure of the arcuate fasciculus». *Cerebral Cortex* 24, 989-995 (2012).

Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A., y Eden, G. F., «Development of neural mechanisms for reading». *Nature Neurosciencie* 6, 767-773 (2003).

Varela, F., Lachaux, J.-P., Rodriguez, E., y Martinerie, J., «The brain web: Phase synchronization and large-scale integration». *Nature Rev. Neurosci.* 2, 229-239 (2001).

Wheat, K. L., Cornelissen, P. L., Frost, S. J., y Hansen, P. C., «During visual word recognition, phonology is accessed within 100 ms and may be mediated by speech production code: Evidence from magnetoencephalography». *J. Neurosci.* 30, 5229-5233 (2010).

Wolf, M., *Proust and the squid.* Icon Books, Londres 2008.

Zanto, T. P., Rubens, M. T., Thangavel, A., y Gazzaley, A., «Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory». *Nature Neurosci.* 14, 656-661 (2011).

Edición en formato digital: 2020

Esquemas y figuras de Ana María Sanguinetti de la Torre

© Francisco Mora Teruel, 2020
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2020
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15
28027 Madrid
alianzaeditorial@anaya.es

ISBN ebook: 978-84-9181-941-7

Está prohibida la reproducción total o parcial de este libro electrónico, su transmisión, su descarga, su descompilación, su tratamiento informático, su almacenamiento o introducción en cualquier sistema de repositorio y recuperación, en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, conocido o por inventar, sin el permiso expreso escrito de los titulares del Copyright.
Conversión a formato digital: REGA

www.alianzaeditorial.es